

# Modulkatalog Master of Science

## 128 Physik

### PO-Version 2016

FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA

#### Inhaltsverzeichnis

BA-Phi 1.1	Einführung in die Philosophie	6
BA-Phi 1.2	Logik und Argumentationslehre	8
BW10.1	Basismodul Operations Management	10
BW11.1	Basismodul Grundlagen des Marketing-Management	12
BW12.2	Basismodul Corporate Finance	14
BW12.2a	Basismodul Investition, Finanzierung und Kapitalmarkt	16
BW15.1	Basismodul Buchführung	18
BW15.2	Basismodul Rechnungslegung und Controlling	20
BW16.1	Basismodul Management	22
BW20.1	Basismodul Mikroökonomik	24
BW21.1	Basismodul Makroökonomik	25
BW34.1	Basismodul Einführung in die Betriebswirtschaftslehre	26
FMI-IN0036	Mustererkennung	27
FMI-IN0046	Rechnersehen I	29
FMI-IN0075	Objektorientierte Programmierung	31
FMI-MA0207	Höhere Analysis 1	33
FMI-MA0243	Funktionentheorie 1	35
FMI-MA0406	Klassische Differentialgeometrie - 9 LP	36
FMI-MA0445	Mathematische Methoden der klassischen Mechanik - 6 LP	38
FMI-MA0446	Klassische Differentialgeometrie - 6 LP	39
FMI-MA1212	Höhere Analysis 2	41
MC2.1.8	Theoretische Chemie I	43
MC3.1.8	Theoretische Chemie II	45
MedPhoA1.2	Optical Engineering	47
PAFBX411	Computational Physics II	49
PAFBX511	Einführung in die Astronomie	51
PAFBX521	Relativistische Physik	53
PAFLA017	Milchstraßensystem	55
PAFLX811	Kontinuumsmechanik	57
PAFMA001	Physik der Sterne	59
PAFMA002	Astronomische Beobachtungstechnik	61

<b>PAFMA003</b>	<b>Himmelsmechanik</b>	<b>63</b>
<b>PAFMA004</b>	<b>Astronomisches Praktikum</b>	<b>65</b>
<b>PAFMA005</b>	<b>Physik der Planetensysteme</b>	<b>67</b>
<b>PAFMA006</b>	<b>Terra-Astronomie</b>	<b>69</b>
<b>PAFMA007</b>	<b>Neutronensterne</b>	<b>71</b>
<b>PAFMA010</b>	<b>Einführung in die Radioastronomie</b>	<b>73</b>
<b>PAFMA011</b>	<b>Das Sonnensystem</b>	<b>75</b>
<b>PAFMA014</b>	<b>Kosmologie</b>	<b>77</b>
<b>PAFMA015</b>	<b>Historische Astronomie</b>	<b>79</b>
<b>PAFMA016</b>	<b>Extragalaktik</b>	<b>80</b>
<b>PAFMA017</b>	<b>Helio- und Asteroseismologie</b>	<b>82</b>
<b>PAFMA098</b>	<b>Aktuelle Forschung in der Astronomie</b>	<b>84</b>
<b>PAFMA099</b>	<b>Aktuelle Forschung in der Astrophysik</b>	<b>85</b>
<b>PAFMF001</b>	<b>Theoretische Festkörperphysik</b>	<b>86</b>
<b>PAFMF002</b>	<b>Theorie der Elektronenstruktur</b>	<b>88</b>
<b>PAFMF003</b>	<b>Solid State Optics</b>	<b>90</b>
<b>PAFMF006</b>	<b>Supraleitung</b>	<b>92</b>
<b>PAFMF007</b>	<b>Vakuum- und Dünnschichtphysik</b>	<b>94</b>
<b>PAFMF009</b>	<b>Optoelektronik</b>	<b>96</b>
<b>PAFMF010</b>	<b>Ionenstrahlphysik</b>	<b>97</b>
<b>PAFMF011</b>	<b>Graphene: Electronic and optical properties</b>	<b>98</b>
<b>PAFMF012</b>	<b>Materialinformatik</b>	<b>100</b>
<b>PAFMF015</b>	<b>Nukleare Festkörperphysik</b>	<b>101</b>
<b>PAFMF016</b>	<b>Nanomaterialien und Nanotechnologie</b>	<b>102</b>
<b>PAFMF018</b>	<b>Quanteninformationstheorie</b>	<b>104</b>
<b>PAFMF019</b>	<b>Materialwissenschaft I</b>	<b>106</b>
<b>PAFMF020</b>	<b>Oberflächenphysik</b>	<b>107</b>
<b>PAFMF021</b>	<b>Zweidimensionale Materialien</b>	<b>108</b>
<b>PAFMF022</b>	<b>Materialwissenschaft II</b>	<b>109</b>
<b>PAFMF023</b>	<b>Vielteilchen-Störungstheorie</b>	<b>110</b>
<b>PAFMF098</b>	<b>Vertiefung Festkörperphysik I</b>	<b>112</b>
<b>PAFMF099</b>	<b>Vertiefung Festkörperphysik II</b>	<b>113</b>
<b>PAFMM250</b>	<b>Metallische Werkstoffe</b>	<b>114</b>
<b>PAFMO004</b>	<b>Laser Physics</b>	<b>116</b>
<b>PAFMO005</b>	<b>Optical Metrology and Sensing</b>	<b>118</b>
<b>PAFMO006</b>	<b>Introduction to Optical Modeling</b>	<b>120</b>
<b>PAFMO100</b>	<b>Beschleunigerbasierte moderne Physik</b>	<b>122</b>
<b>PAFMO101</b>	<b>Active Photonic Devices</b>	<b>123</b>
<b>PAFMO102</b>	<b>Analytical Instrumentations</b>	<b>124</b>
<b>PAFMO103</b>	<b>Applied Laser Technology I</b>	<b>126</b>

PAFMO104	Applied Laser Technology II	127
PAFMO106	Atomic Physics at High Field Strengths	128
PAFMO107	Attosecond Laser Physics	130
PAFMO120	Biomedical Imaging - Ionizing Radiation	131
PAFMO121	Biomedical Imaging - Non Ionizing Radiation	133
PAFMO122	Biophotonics	135
PAFMO129	Computational Imaging	137
PAFMO130	Computational Photonics	139
PAFMO131	Fundamental Atomic and Nuclear Processes in Highly Ionized Matter	141
PAFMO132	Optical system design fundamentals	143
PAFMO150	Erneuerbare Energien	144
PAFMO151	Experimental Nonlinear Optics	146
PAFMO160	Fiber Optics	148
PAFMO165	Grundlagen der Laserphysik	150
PAFMO170	High-Intensity/Relativistic Optics	152
PAFMO171	Milestones in Optics	153
PAFMO180	Image Processing	154
PAFMO181	Image Processing in Microscopy	156
PAFMO182	Advanced Optical Design	158
PAFMO183	Introduction to Nano optics	159
PAFMO184	Integrated Optics	161
PAFMO185	Innovation Methods in Photonics	163
PAFMO187	Ionenfallen und Präzisionsexperimente	165
PAFMO200	Laser Driven Radiation Sources	167
PAFMO201	Laser Engineering	168
PAFMO203	Lens Design I	170
PAFMO204	Lens Design II	171
PAFMO205	Light Microscopy	172
PAFMO210	Machine Learning for Quantum Science	174
PAFMO220	Micro/Nanotechnology	176
PAFMO221	Microscopy	177
PAFMO222	Moderne Methoden der Spektroskopie	178
PAFMO230	Nano Engineering	179
PAFMO231	Nonlinear Dynamics in Optical Systems	181
PAFMO233	Neuromorphe Photonik - Plattformen und Anwendung	182
PAFMO240	Optical Engineering	184
PAFMO242	Optics for Spectroscopists: Optical Waves in Solids	185
PAFMO250	Particles in Strong Electromagnetic Fields	186
PAFMO253	Physics of Free-Electron Laser	188
PAFMO254	Physics of Ultrafast Optical Discharge and Filamentation	189

PAFMO255	Plasma Physics	190
PAFMO256	Photovoltaik	192
PAFMO260	Quantum Optics	193
PAFMO261	Quantum Computing	195
PAFMO262	Quantum Communicaton	197
PAFMO263	Quantum Imaging and Sensing	199
PAFMO265	Semiconductor Nanomaterials	200
PAFMO266	Strong-Field Laser Physics	202
PAFMO267	Structured Light and Wavefront Shaping	203
PAFMO270	Theory of Nonlinear Optics	205
PAFMO271	Thin Film Optics	207
PAFMO280	Ultrafast Optics	209
PAFMO281	Ultrafast Fibre Laser: Technology and Applications	211
PAFMO290	XUV and X-Ray Optics	213
PAFMO901	Topics of Current Research I	215
PAFMO902	Topics of Current Research II	216
PAFMO903	Topics of Current Research III	217
PAFMO904	Topics of Current Research IV	218
PAFMP001	Fortgeschrittene Quantentheorie	219
PAFMP002	Physikalisches Experimentieren	221
PAFMP003	Oberseminar Gravitations- und Quantentheorie	222
PAFMP004	Oberseminar Festkörperphysik/Materialwissenschaft	224
PAFMP005	Oberseminar Astronomie/Astrophysik	226
PAFMP006	Oberseminar Optik	228
PAFMP090	Einführung in wissenschaftliches Arbeiten	229
PAFMP091	Projektplanung zur Masterarbeit	230
PAFMQ001	Grundlagen der Quanteninformation	231
PAFMQ002	Fortgeschrittene Quanteninformationstheorie und -hardware	233
PAFMQ007	Quantum Laboratory	235
PAFMQ100	Molecular quantum mechanics / quantum chemistry I	236
PAFMQ101	Molecular quantum mechanics / quantum chemistry II	237
PAFMT001	Allgemeine Relativitätstheorie	238
PAFMT002	Teilchen und Felder	240
PAFMT003	Quantenfeldtheorie	242
PAFMT010	Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie	244
PAFMT011	Einführung in Stringtheorie und AdS/CFT	245
PAFMT012	Das Standardmodell der Teilchenphysik	246
PAFMT013	Eichtheorien	248
PAFMT014	Quantenfeldtheorien auf dem Gitter	249
PAFMT015	Quantenphysik mit dem Rechner	251

<b>PAFMT016</b>	<b>Symmetrien in der Physik</b>	<b>253</b>
<b>PAFMT017</b>	<b>Theoretische Atomphysik</b>	<b>255</b>
<b>PAFMT018</b>	<b>Physik des Quantenvakuums in starken Feldern</b>	<b>257</b>
<b>PAFMT019</b>	<b>Supersymmetrie</b>	<b>258</b>
<b>PAFMT020</b>	<b>Physik der Skalen - Die Renormierungsgruppe</b>	<b>260</b>
<b>PAFMT099</b>	<b>Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantenfeldtheorie I</b>	<b>261</b>
<b>PAFMT200</b>	<b>Numerische Relativitätstheorie</b>	<b>262</b>
<b>PAFMT201</b>	<b>Gravitationswellen</b>	<b>264</b>
<b>PAFMT202</b>	<b>Computational Physics III</b>	<b>266</b>
<b>PAFMT203</b>	<b>Magnetohydrodynamik</b>	<b>268</b>
<b>PAFMT204</b>	<b>Relativistische Astrophysik</b>	<b>270</b>
<b>PAFMT205</b>	<b>Solitonen</b>	<b>272</b>
<b>PAFMT206</b>	<b>Computational Physics IV</b>	<b>274</b>
<b>PAFMT299</b>	<b>Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie II</b>	<b>275</b>
<b>PAFMT300</b>	<b>Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie III</b>	<b>276</b>
<b>PAFMT301</b>	<b>Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie IV</b>	<b>278</b>
<b>PAFMW019</b>	<b>Werkstoffthermodynamik in der Praxis</b>	<b>279</b>
<b>PAFWW006</b>	<b>Elektronenmikroskopie - Grundlagen und Anwendungen</b>	<b>281</b>
<b>PAFWW027</b>	<b>Phasenfeldtheorie</b>	<b>282</b>
<b>PAFMP099</b>	<b>Masterarbeit Physik</b>	<b>284</b>
	<b>Abkürzungen</b>	<b>285</b>

**Hinweis :** Hinweis: Prüfungen, den Prüfungen zugeordnete Lehrveranstaltungen sowie Prüfungstermine können in Friedolin unter dem Menüpunkt "Modulkataloge" eingesehen werden. Nach Login wählen Sie dazu bitte Abschluss, Studiengang und Modul. Unmittelbar eingearbeitete Änderungen werden dort zeitnah dargestellt.

Modul <b>BA-Phi 1.1</b> Einführung in die Philosophie	
Modulcode	BA-Phi 1.1
Modultitel (deutsch)	Einführung in die Philosophie
Modultitel (englisch)	Introduction to Philosophy
Modul-Verantwortliche/r	BA Philosophie: Studiengangsverantwortlicher des BA Philosophie LA Philosophie/Ethik: Studiengangsverantwortlicher des LA Philosophie/Ethik
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	770 B.A. Gräzistik Ergänzungsfach: Das Modul wird im Rahmen der kapazitären Möglichkeiten geöffnet. Die Teilnehmerzahl der Tutorien ist beschränkt. 180 B.A. Kaukasiologie Ergänzungsfach: Das Modul wird im Rahmen der kapazitären Möglichkeiten geöffnet. Die Teilnehmerzahl der Tutorien ist beschränkt.
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	127 B.A. Philosophie Kernfach:Voraussetzung für BA-Phi 2.1-6.1 (empfohlen) 127 B.A. Philosophie Ergänzungsfach:Voraussetzung für BA-Phi 2.1-4.2 (empfohlen) 127 LG Philosophie:Voraussetzung für alle anderen Module (empfohlen) 169 LR Ethik:Voraussetzung für alle anderen Module (empfohlen) 770 B.A. Gräzistik Ergänzungsfach:keine 180 B.A. Kaukasiologie Ergänzungsfach: BA-Phi 3.1 (empfohlen)
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	770 B.A. Gräzistik Ergänzungsfach: Wahlpflichtmodul, 127 B.A. Philosophie Kernfach: Pflichtmodul, 127 B.A. Philosophie Ergänzungsfach: Pflichtmodul, 180 B.A. Kaukasiologie Ergänzungsfach: Wahlpflichtmodul, 127 LG Philosophie: Pflichtmodul, 169 LR Ethik (inkl. Erweiterungsfach): Pflichtmodul; Für Studierende anderer Fächer: Zusatzmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Tutorium (2 SWS) und Selbststudium
Leistungspunkte (ECTS credits)	10 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	300 h 60 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	240 h

Inhalte	Als Basis des weiteren Studiums dient die Vorlesung einer ersten allgemeinen Orientierung im Fach Philosophie. Vermittelt werden Einblicke in die verschiedenen Disziplinen und Epochen, in wesentliche Fragestellungen und Probleme, in wichtige Grundbegriffe und deren Variationen sowie in Methoden und Hilfsmittel der Philosophie. Zusätzlich zur Vorlesung werden begleitende Tutorien angeboten. Neben dem Umgang mit den Techniken wissenschaftlichen Arbeitens (Bibliographieren, Anfertigung von Protokollen und Hausarbeiten) geht es hier vor allem darum, den Vorlesungsstoff zu vertiefen und die Auseinandersetzung mit philosophischen Texten an konkreten Beispielen einzuüben. Im Rahmen des Tutoriums wird auch fachspezifische Informationskompetenz in Kooperation mit dem Fachreferat Philosophie der ThULB (Bibliothekskunde, Informationsrecherche, -bewertung und -nutzung) vermittelt. (Genauere Erläuterungen finden sich im Veranstaltungskommentar.)
Lern- und Qualifikationsziele	Orientierung im Fach Philosophie; Erwerb basaler Kenntnisse der Philosophie und Fertigkeiten im Umgang mit philosophischen Texten.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Regelmäßige, aktive Teilnahme an einem Tutorium; zusätzlich können vom Tutor Referat, Protokoll, Essay o.ä. verlangt werden (wird zu Beginn des Tutoriums bekannt gegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur zur Vorlesung (90 Min., bewertet mit "bestanden"/"nicht bestanden")
Zusätzliche Informationen zum Modul	Das Modul sollte in der Regel im 1. FS belegt werden.
Empfohlene Literatur	s. Veranstaltungskommentar

Modul <b>BA-Phi 1.2</b> Logik und Argumentationslehre	
Modulcode	BA-Phi 1.2
Modultitel (deutsch)	Logik und Argumentationslehre
Modultitel (englisch)	Formal and Informal Logic
Modul-Verantwortliche/r	BA Philosophie: Studiengangsverantwortlicher des BA Philosophie LA Philosophie/Ethik: Studiengangsverantwortlicher des LA Philosophie/Ethik
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	--
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	--
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	770 B.A. Gräzistik Ergänzungsfach: Wahlpflichtmodul 127 B.A. Philosophie Kernfach: Pflichtmodul 127 B.A. Philosophie Ergänzungsfach: Wahlpflichtmodul 127 LG Philosophie: Pflichtmodul(und Erweiterungsfach) 169 LR Ethik (und Erweiterungsfach): Wahlpflichtmodul Für Studierende anderer Fächer: Zusatzmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (jährlich)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS), ggf. mit Tutorium, Selbststudium
Leistungspunkte (ECTS credits)	10 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	300 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	240 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Lehrstoff ist die elementare Junktoren- und Quantorenlogik bis zur Einführung des Begriffs der logischen Folgerung. Das Vorgehen ist weniger durch formale Ableitungen bestimmt als vielmehr durch die Einübung des Gebrauchs von Junktoren und Quantoren im Rahmen einer logischen Argumentationslehre, die auf sprachanalytischer Grundlage entwickelt wird. Der Lernerfolg wird durch die Ausgabe von Übungsblättern und die Korrektur der abgegebenen Lösungen regelmäßig überprüft. (Genauere Erläuterungen finden sich im Veranstaltungskommentar.)
Lern- und Qualifikationsziele	Einübung in formales Schließen und Argumentieren; Überblick über die Möglichkeiten logischer Sprachanalyse (im Vergleich mit rhetorischer und poetischer Sprachanalyse); Kenntnisse zum Verhältnis von traditioneller Logik (Aristoteles, Kant) und moderner Logik (Frege).

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Regelmäßige, aktive Teilnahme und Bearbeitung von Übungsaufgaben.
--	---

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur zur Vorlesung (90 Min., benotet).
---	---

Empfohlene Literatur
----------------------

Modul <b>BW10.1</b> Basismodul Operations Management	
Modulcode	BW10.1
Modultitel (deutsch)	Basismodul Operations Management
Modultitel (englisch)	Basic Module Operations Management
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Nils Boysen
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 079 B.Sc. Informatik, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht (Erweiterung), 184 B.A. Wirtschaftswissenschaften, 132 B.Sc. Psychologie, 320 B.Sc. Ernährungswissenschaften, 079 M.Sc. Informatik, 128 M.Sc. Physik, 105 B.Sc. Mathematik, 105 M.Sc. Mathematik, 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (3 SWS), Übung (1 SWS), Tutorium (freiwillig im Rahmen des Selbststudiums)
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Operations Management in Sachgüter- und Dienstleistungsprozessen; Einführung in Beschaffung, Produktion und Distribution und die wichtigsten Planungsprobleme; Grundlagen in Logistik und Supply Chain Management; Grundlagen der quantitativen Planung und Optimierung
Lern- und Qualifikationsziele	Lernende können <ul style="list-style-type: none"> <li>grundlegende Ansätze zur produktionswirtschaftlichen und logistischen Gestaltung beschreiben, einordnen und zusammenfassen und diese im Kontext spezifischer Unternehmen benutzen, miteinander kombinieren und modifizieren sowie</li> <li>elementare Analyse und Lösungselemente des Operations Management beschreiben, einordnen und zusammenfassen, und diese auf idealtypische Probleme in Unternehmen anwenden und modifizieren.</li> </ul>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur (100%) im Prüfungszeitraum
Zusätzliche Informationen zum Modul	Präsenzstunden (Vorlesungen und Übungen): 60 h, Selbststudium (Vorlesungen und Übungen): 60 h, Selbststudium (freiwillige Tutorien, Prüfungsvorbereitung, etc.): 60 h; Abschließende Klausur im Prüfungszeitraum

Empfohlene Literatur	Domschke, Wolfgang und Scholl, Armin: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Berlin (in der aktuellen Auflage)
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW11.1</b> Basismodul Grundlagen des Marketing-Management	
Modulcode	BW11.1
Modultitel (deutsch)	Basismodul Grundlagen des Marketing-Management
Modultitel (englisch)	Basic Module Principles of Marketing Management
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Nicolas Zacharias
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Empfohlen: Grundlegende Vorkenntnisse in Mathematik, z.B. erworben in BW12.1 Basismodul Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 079 B.Sc. Informatik, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht, 011 LAG JM Wirtschaft/ Recht (Erweiterung), 184 B.A. Wirtschaftswissenschaften, 132 B.Sc. Psychologie, 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik, 320 B.Sc. Ernährungswissenschaften, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik: Wahlpflichtmodul; 184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul (BIS, BWL, IMS, Regelprofil) / Wahlpflichtmodul (VWL, WiPäd1, WiPäd 2)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS), Tutorium (freiwillig im Rahmen des Selbststudiums)
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Allgemeine Grundlagen des Marketing; Strategische Perspektive des Marketing (Grundlagen des strategischen Marketing, Prozess der Strategieentwicklung); Instrumentelle Perspektive des Marketing (Produktpolitik, Preispolitik, Kommunikationspolitik, Vertriebspolitik); Institutionelle Perspektive des Marketing (Dienstleistungsmarketing, Handelsmarketing)
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die allgemeinen Grundlagen und Perspektiven des Marketings. Sie verstehen die Grundlagen des strategischen Marketings und kennen die vier zentralen Instrumente des Marketing-Mix sowie deren Anwendung. Darüber hinaus verstehen die Studierenden im Rahmen der institutionellen Perspektive die Besonderheiten des Marketings unter speziellen Rahmenbedingungen und können Anwendungsmöglichkeiten der behandelten Themen in der Praxis aufzeigen.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	60-minütige Klausur im Prüfungszeitraum
Empfohlene Literatur	Wird in der Veranstaltung bekanntgegeben.

Unterrichtssprache

Deutsch

Modul <b>BW12.2</b> Basismodul Corporate Finance	
Modulcode	BW12.2
Modultitel (deutsch)	Basismodul Corporate Finance
Modultitel (englisch)	Basic Module Corporate Finance
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Benjamin R. Auer
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Empfohlen sind grundlegende Vorkenntnisse in Mathematik und Statistik, wie sie z.B. in den Modulen BW12.1 Basismodul Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler und BW30.1 Basismodul Statistik vermittelt werden.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul/ Wahlpflichtmodul; 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 079 B.Sc. Informatik, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 011 LAG JM Wirtschaft/ Recht, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht (Erweiterung), 184 B.A. Wirtschaftswissenschaften, 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik, 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS)
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	In diesem Modul erlernen Sie nach einem Einblick in die Auswertung von Finanzberichten und finanzmathematische Grundlagen (z. B. Raten- und Rentenrechnung), wie sich Unternehmen über organisierte Märkte mit Kapital versorgen und die dabei relevanten Finanzierungstitel (z. B. Aktien, Anleihen) bewerten. Darüber hinaus wird sich kritisch mit etablierten Verfahren zum Treffen optimaler Investitionsentscheidungen (z. B. Kapitalwert, interner Zinsfuß) beschäftigt. Den dabei nötigen Referenz- bzw. Kapitalkostensätzen wird sich im Rahmen klassischer Portfolio- und Kapitalmarktheorie (z. B. Markowitz-Optimierung, CAPM) genähert. Abrundend vermitteln wir Ihnen, wie Unternehmen ihre Verschuldungs- und Ausschüttungspolitik festlegen und Zahlungsmittelflüsse verwalten. Alle methodenbezogenen Inhalte sind begleitet von einer konkreten Umsetzung in Microsoft Excel.

Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden sind nach Absolvieren des Moduls dazu befähigt, optimale Finanzierungs- und Investitionsentscheidungen im Unternehmenskontext zu treffen. Sie sind in der Lage, die dazu nötigen quantitativen Verfahren zu implementieren sowie ihre Ergebnisse wissenschaftlich fundiert zu interpretieren und praktisch umzusetzen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90-minütige Klausur (100 %)
Empfohlene Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW12.2a</b> Basismodul Investition, Finanzierung und Kapitalmarkt	
Modulcode	BW12.2a
Modultitel (deutsch)	Basismodul Investition, Finanzierung und Kapitalmarkt
Modultitel (englisch)	Basic Module Investments, Finance and Capital Markets
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Benjamin R. Auer
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Empfohlen sind grundlegende Vorkenntnisse in Mathematik und Statistik, wie sie z.B. in den Modulen BW12.1 Basismodul Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler und BW30.1 Basismodul Statistik vermittelt werden.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul (BIS, BWL, IMS, Regelprofil, VWL) / Wahlpflichtmodul (BAN, WiPäd1, WiPäd 2) 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 079 B.Sc. Informatik, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 011 LAG JM Wirtschaftslehre/Recht, 011 LAG JM Wirtschaftslehre/Recht (Erweiterung), 184 B.A. Wirtschaftswissenschaften, 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik, 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS)
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	In diesem Modul erlernen Sie nach einem Einblick in die Auswertung von Finanzberichten und finanzmathematische Grundlagen (z. B. Raten- und Rentenrechnung), wie sich Unternehmen über organisierte Märkte mit Kapital versorgen und die dabei relevanten Finanzierungstitel (z. B. Aktien, Anleihen) bewerten. Darüber hinaus wird sich kritisch mit etablierten Verfahren zum Treffen optimaler Investitionsentscheidungen (z. B. Kapitalwert, interner Zinsfuß) beschäftigt. Den dabei nötigen Referenz- bzw. Kapitalkostensätzen wird sich im Rahmen klassischer Portfolio- und Kapitalmarkttheorie (z. B. Markowitz-Optimierung, CAPM) genähert. Abrundend vermitteln wir Ihnen, wie Unternehmen ihre Verschuldungs- und Ausschüttungspolitik festlegen und Zahlungsmittelflüsse verwalten. Alle methodenbezogenen Inhalte sind begleitet von einer konkreten Umsetzung in Microsoft Excel.

Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden sind nach Absolvieren des Moduls dazu befähigt, optimale Finanzierungs- und Investitionsentscheidungen im Unternehmenskontext zu treffen. Sie sind in der Lage, die dazu nötigen quantitativen Verfahren zu implementieren sowie ihre Ergebnisse wissenschaftlich fundiert zu interpretieren und praktisch umzusetzen.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90-minütige Klausur im Prüfungszeitraum
Empfohlene Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW15.1</b> Basismodul Buchführung	
Modulcode	BW15.1
Modultitel (deutsch)	Basismodul Buchführung
Modultitel (englisch)	Basic Module Accounting
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Bernd Hüfner
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflicht (BIS, BWL, IMS, Regelprofil, VWL, WiPäd1, WiPäd 2) / Wahlpflicht (BAN), 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 011 LA JM G Wirtschaft/Recht: Pflichtmodul 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 079 B.Sc. Informatik, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 184 B.A. Wirtschaftswissenschaften, 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik, 320 B.Sc. Ernährungswissenschaften, 179 M.Sc. Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure und Naturwissenschaftler, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik, 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS), Tutorium (freiwillig im Rahmen des Selbststudiums)
Leistungspunkte (ECTS credits)	3 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	90 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	30 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Das Modul beschäftigt sich mit der Abbildung des Eigenkapital- und Einkommensaspekts von Unternehmensgeschehen mit Hilfe der doppelten Buchführung. Neben der Vermittlung der Technik der Buchführung setzt sich die Veranstaltung mit dem Aufbau, der Funktionsweise und den grundlegenden Problemen des Rechnungswesens auseinander. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie sich die weltweit verbreiteten Finanzberichte - in Gestalt von Bilanz, Einkommensrechnung, Eigenkapitalveränderungsrechnung und Kapitalflussrechnung - aus der Buchführung herleiten lassen. Die Veranstaltung bildet die Basis für weiterführende Veranstaltungen zum internen und externen Rechnungswesen.
Lern- und Qualifikationsziele	Studierende sind in der Lage, betriebliche Güter- und Finanzbewegungen im Rechnungswesen abzubilden und nachzuvollziehen. Sie können Kontenbestände und deren Veränderungen im Rechnungswesen zuordnen und interpretieren. Durch das Erlernen der Buchführungstechniken sind sie zur Erstellung der Finanzberichte „Bilanz“, „Einkommensrechnung“, „Eigenkapitalveränderungsrechnung“ und „Kapitalflussrechnung“ befähigt.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	45 Minuten-Klausur in der Vorlesungszeit

Empfohlene Literatur	Wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW15.2</b> Basismodul Rechnungslegung und Controlling	
Modulcode	BW15.2
Modultitel (deutsch)	Basismodul Rechnungslegung und Controlling
Modultitel (englisch)	Basic Module Financial and Managerial Accounting
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Bernd Hüfner / Professor Dr. Christian Lukas
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Empfohlen: Inhalte von BW15.1 Basismodul Buchführung
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 079 B.Sc. Informatik, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht (Erweiterung), 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik, 320 B.Sc. Ernährungswissenschaften, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik, 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS), Tutorium (freiwillig im Rahmen des Selbststudiums)
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Das Modul vermittelt die Grundlagen des internen und externen Rechnungswesens. Besonderer Wert wird auf die Zusammenhänge zwischen diesen beiden Teilbereichen des Rechnungswesens gelegt. Hinsichtlich des internen Rechnungswesens geht es um die Auseinandersetzung mit der Kosten- und Erlösrechnung als Standardbaustein betriebswirtschaftlicher Ausbildung. Neben den Basiselementen von Kosten- und Erlösrechnungen werden die klassischen Kosten- und Erlösverrechnungssysteme – die Arten-, Stellen- und Trägerrechnung – behandelt. Im externen Rechnungswesen werden grundlegende Kenntnisse über die Rechnungslegung nach deutschem Handelsrecht vermittelt. Eingegangen wird zunächst auf die Grundsätze ordnungsmäßiger Buchführung, dann auf grundlegende Regeln zur Bilanzierung und Einkommensermittlung nach deutschem Handelsrecht. Eingegangen wird zunächst auf die Grundsätze ordnungsmäßiger Buchführung, dann auf grundlegende Regeln zur Bilanzierung und Einkommensermittlung nach deutschem Handelsrecht.

Lern- und Qualifikationsziele	Studierende verfügen über ein breites Basiswissen im Bereich des internen und externen Rechnungswesens. Sie sind in der Lage, die Grundbegriffe der Kostenrechnung und Kostenfunktionen zu definieren sowie Kostenarten-, Kostenträger- und Kostenleistungsrechnungen durchzuführen und zu interpretieren. Studierende sind dazu befähigt, die Grundsätze und relevanten Regelungen zur deutschen Rechnungslegung nach HGB zu verstehen und anzuwenden, um Finanzberichte interpretieren zu können und eigenständig zu erstellen.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	60 Minuten Klausur im Prüfungszeitraum
Empfohlene Literatur	Wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW16.1</b> Basismodul Management	
Modulcode	BW16.1
Modultitel (deutsch)	Basismodul Management
Modultitel (englisch)	Basic Module Management
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Mike Geppert
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul (BIS, BWL, Regelprofil) / Wahlpflichtmodul (BAN, IMS, VWL, WiPäd1, WiPäd 2) 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 079 B.Sc. Informatik, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht, 011 LAG JM Wirtschaft/Recht (Erweiterung), 184 B.A. Wirtschaftswissenschaften, 132 B.Sc. Psychologie, 320 B.Sc. Ernährungswissenschaften, 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik, 128 M.Sc. Physik, 729 M.A: International Organisations and Crisis Management: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (3 SWS), Übung (1 SWS)
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen des Strategischen Managements,</li> <li>• Strategische Unternehmensplanung: Analyseinstrumente,</li> <li>• Geschäfts- und Unternehmensstrategie,</li> <li>• Strategiumsetzung, Kontrolle und Organisationsgestaltung,</li> <li>• Internationale Strategie und Organisation,</li> <li>• Management im Mitbestimmungs- und Kapitalmarktkontext</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	<p>Die Studierenden verfügen nach Abschluss dieses Moduls über die folgenden drei Kernkompetenzen:</p> <p>1) Grundlegende Konzepte des strategischen Managements verstehen und anwenden: Die Studierenden kennen die grundlegenden Konzepte des strategischen Managements und verstehen, wie sie in der Praxis angewendet werden. Sie sind in der Lage, die Ziele, Werte, Leistungen und die Umwelt von Unternehmen zu analysieren und auf Basis der erlernten Konzepte fundierte Entscheidungen zu treffen.</p> <p>2) Verständnis für die Anforderungen an Unternehmer und Manager entwickeln: Die Studierenden sind mit den verschiedenen Anforderungen an Unternehmer und Manager vertraut und verstehen, welche Fähigkeiten und Eigenschaften für eine erfolgreiche Unternehmensführung erforderlich sind. Sie haben ein Bewusstsein für die persönlichen und beruflichen Kompetenzen entwickelt, die für die Übernahme von Führungsverantwortung in Unternehmen erforderlich sind.</p> <p>3) Kenntnis der Grundfragen internationaler Strategie und Anwendung der Prinzipien der Corporate Governance: Die Studierenden verstehen die Grundfragen der internationalen Strategie und können analysieren, wie Unternehmen ihre Aktivitäten in einem globalen Kontext planen und durchführen. Sie kennen die Prinzipien der Corporate Governance und sind in der Lage, diese in Organisationsstrukturen anzuwenden, um eine effektive Unternehmensführung sicherzustellen.</p>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur im Prüfungszeitraum
Empfohlene Literatur	<p>Müller, H.E.: Unternehmensführung: Strategien, Konzepte, Praxisbeispiele, aktuelle Auflage.</p> <p>Steinmann, H. /Schreyögg, G.: Management. Grundlagen der Unternehmensführung, aktuelle Auflage.</p> <p>Weitere empfohlene Literaturquellen werden zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.</p>
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW20.1</b> Basismodul Mikroökonomik	
Modulcode	BW20.1
Modultitel (deutsch)	Basismodul Mikroökonomik
Modultitel (englisch)	Basic Module Microeconomics
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Uwe Cantner
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul (BIS, BWL, Regelprofil, VWL, WiPäd1, WiPäd 2) / Wahlpflichtmodul (BAN, IMS) 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 147 LAG JM Sozialkunde (Erweiterung), 147 LAG JM Sozialkunde, 147 LRS JM Sozialkunde (Erweiterung), 147 LAG JM Sozialkunde, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS)
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	150 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Das Modul Mikroökonomik führt in die Analyse einzelwirtschaftlicher ökonomischer Entscheidungen und ihre Koordination auf Märkten ein. Hierzu werden Kenntnisse der grundlegenden Analysemethoden vermittelt und auf die Gebiete Produktions- und Haushaltstheorie sowie Markt- und Wettbewerbstheorie angewandt. Abgerundet wird die Veranstaltung durch eine einführende Behandlung der Wohlfahrtstheorie.
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden verfügen über ein grundlegendes Verständnis der zentralen Begriffe, Konzepte und methodischen Ansätze der Mikroökonomik. Sie verfügen über die notwendigen Fähigkeiten, einfache formaltheoretische Modelle analytisch zu lösen, zu interpretieren und auf reale Situationen zu übertragen.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur im Prüfungszeitraum
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW21.1</b> Basismodul Makroökonomik	
Modulcode	BW21.1
Modultitel (deutsch)	Basismodul Makroökonomik
Modultitel (englisch)	Basic Module Macroeconomics
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Roland Winkler
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	BW12.1 Basismodul Mathematik für Wirtschaftswissenschaftler; BW23.1 Basismodul Einführung in die Volkswirtschaftslehre
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Pflichtmodul (Regelprofil, VWL, WiPäd1, WiPäd 2) / Wahlpflichtmodul (BAN, BIS, BWL, IMS) 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen, 147 LAG JM Sozialkunde (Erweiterung), 147 LAG JM Sozialkunde, 147 LRS JM Sozialkunde (Erweiterung), 147 LAG JM Sozialkunde, 105 M.Sc. Mathematik, 105 B.Sc. Mathematik, 079 M.Sc. Informatik, 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (3 SWS), Übung (1 SWS)
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	150 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Das Basismodul Makroökonomik gibt eine umfassende Einführung in die Analyse gesamtwirtschaftlicher Zusammenhänge. Hierzu werden makroökonomische Daten analysiert, makroökonomische Modelle hergeleitet und wirtschaftspolitische Maßnahmen in diesen Modellen analysiert. Außerdem werden aktuelle makroökonomische Entwicklungen und wirtschaftspolitische Entwicklungen thematisiert.
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen wichtige makroökonomische Daten und grundlegende makroökonomische Modelle. Sie sind befähigt, aktuelle wirtschaftspolitische Diskussionen qualifiziert zu verfolgen und sich an ihnen zu beteiligen. Sie sind in der Lage, Wirtschaftspolitik zu analysieren, zu bewerten und Empfehlungen zu geben.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur im Prüfungszeitraum
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>BW34.1</b> Basismodul Einführung in die Betriebswirtschaftslehre	
Modulcode	BW34.1
Modultitel (deutsch)	Basismodul Einführung in die Betriebswirtschaftslehre
Modultitel (englisch)	Basic Module Introduction to Business Economics
Modul-Verantwortliche/r	Professor Dr. Christian Lukas
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	011 LA Gym Wirtschaft/Recht, 011 LA Gym Wirtschaft/Recht (Erweiterung), 984 B.A. Wirtschaft und Sprachen: Pflichtmodul; 050 B.Sc. Geographie, 079 B.Sc. Informatik, 105 B.Sc. Mathematik, 132 B.Sc. Psychologie, 276 B.Sc. Wirtschaftsmathematik, 320 B.Sc. Ernährungswissenschaften, 679 B.Sc. Angewandte Informatik, 030 B.A. Interkulturelle Wirtschaftskommunikation, 184 B.A. Wirtschaftswissenschaften, 079 M.Sc. Informatik, 105 M.Sc. Mathematik, 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung (2 SWS), Übung (2 SWS)
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Die Veranstaltung bietet einen Überblick über das Fachgebiet Betriebswirtschaftslehre. Es werden grundlegende Begrifflichkeiten vermittelt und zentrale betriebliche Funktionsbereiche vorgestellt. Im Sinne einer entscheidungsorientierten Sicht wird ein besonderer Schwerpunkt auf die Identifizierung und Beschreibung elementarer Planungs- und Entscheidungsprobleme gelegt.
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen wichtige Begriffe und Methoden der betrieblichen Funktionsbereiche. Sie sind in der Lage, typische Entscheidungsprobleme der einzelnen Bereiche zu benennen, Methoden zu ihrer Lösung anzuwenden und kritisch zu beurteilen.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	60-minütige Klausur im Prüfungszeitraum
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>FMI-IN0036</b> Mustererkennung	
Modulcode	FMI-IN0036
Modultitel (deutsch)	Mustererkennung
Modultitel (englisch)	Pattern Recognition
Modul-Verantwortliche/r	Paul Bodesheim, Joachim Denzler
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	<p>Grundkenntnisse in</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programmierung (Module etwa FMI-IN0025 „Grundlagen informatischer Problemlösung“ oder FMI-IN1009 „Strukturiertes Programmieren“)</li> <li>- Algorithmen und Datenstrukturen (Module etwa FMI-IN0001 „Algorithmen und Datenstrukturen“ oder FMI-IN10001 „Algorithmische Grundlagen“)</li> <li>- Automaten (Module etwa FMI-IN0005 „Automaten und Berechenbarkeit“ oder FMI-IN0006 „Berechenbarkeit und Komplexität“)</li> <li>- Analysis und Linearer Algebra (Module etwa FMI-MA0022 „Lineare Algebra“ + FMI-MA0017 „Grundlagen der Analysis“ oder FMI-IN3004 „Mathematik für das Lehramt Informatik“)</li> </ul>
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 079 LA Regelschule Informatik: Wahlpflichtmodul (Intelligente Systeme)</li> <li>- 079 LA Gymnasium Informatik: Wahlpflichtmodul (Intelligente Systeme)</li> <li>- 079 LA RS (Erweiterung) Informatik (PO-V. 2020; PO-V. 2024): Wahlpflichtmodul (Intelligente Systeme)</li> <li>- 079 B.A. Informatik: Wahlpflichtmodul</li> <li>- 079 B.Sc. Informatik: Wahlpflichtmodul (INT; Konto C: Mathematik/ Informatik)</li> <li>- 079 M.Sc. Informatik (PO-V. 2016): Wahlpflichtmodul (INT)</li> <li>- 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (ASQ; NF Informatik)</li> <li>- 105 M.Sc. Mathematik (PO-V. 2010): Wahlpflichtmodul (NF Informatik)</li> <li>- 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module)</li> <li>- 184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Wahlpflichtmodul (IMS: Vertiefungsmodule d. FMI)</li> <li>- 200 M.Sc. Computational and Data Science: Wahlpflichtmodul</li> <li>- 221 B.Sc. Bioinformatik: Wahlpflichtmodul (Informatik)</li> <li>- 221 M.Sc. Bioinformatik: Wahlpflichtmodul (Informatik; Bioinformatisch relevante Informatik)</li> <li>- 679 B.Sc. Angewandte Informatik: Wahlpflichtmodul (INT)</li> </ul>
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	<p>3 SWS Vorlesung</p> <p>1 SWS Übung</p>
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h

(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Einführung in die Methoden der Mustererkennung zur maschinellen Modellierung und Simulation komplexer Informationsverarbeitungsprozesse, wie sie insbesondere bei der Wahrnehmung und Auswertung visueller, akustischer oder taktiler Sinneseindrücke durch den Menschen auftreten. Diskretisierung/Filterung/Normierung; Merkmalauswahl und Merkmaltransformation; statistische, diskriminative und nichtparametrische Klassifikatoren; unüberwachtes Lernen; Zeitreihen
Lern- und Qualifikationsziele	Umfassendes Verständnis von Musteranalysetechniken und deren fachübergreifendem Einsatz und Nutzen Einblick in einschlägige Anwendungsgebiete der Mustererkennung Vertiefte Kenntnisse des Gebietes „Numerische Klassifikatoren“ Fähigkeit Modelle und Systeme der Mustererkennung zu entwickeln
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben Mindestens 50% der erzielbaren Punkte erreicht
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur (100%) oder mündliche Prüfung (100%) Festlegung erfolgt zu Semesterbeginn
Empfohlene Literatur	Niemann, Heinrich: Pattern Analysis and Understanding, Springer 1990. Duda, Richard; Hart, Peter; Stork, Dave: Pattern Classification, Wiley 2001. Bishop, Christopher: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer 2006.

Modul <b>FMI-IN0046</b> Rechnersehen I	
Modulcode	FMI-IN0046
Modultitel (deutsch)	Rechnersehen I
Modultitel (englisch)	Computer Vision I
Modul-Verantwortliche/r	Joachim Denzler
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 079 B.A. Informatik: Wahlpflichtmodul</li> <li>- 079 B.Sc. Informatik: Wahlpflichtmodul (INT; Konto C: Mathematik/ Informatik)</li> <li>- 079 M.Sc. Informatik (PO-V. 2016): Wahlpflichtmodul (INT)</li> <li>- 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (ASQ; NF Informatik)</li> <li>- 105 M.Sc. Mathematik (PO-V. 2010): Wahlpflichtmodul (NF Informatik)</li> <li>- 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module)</li> <li>- 184 B.Sc. Wirtschaftswissenschaften: Wahlpflichtmodul (IMS: Vertiefungsmodule d. FMI)</li> <li>- 200 M.Sc. Computational and Data Science: Wahlpflichtmodul</li> <li>- 221 B.Sc. Bioinformatik: Wahlpflichtmodul (Informatik)</li> <li>- 221 M.Sc. Bioinformatik: Wahlpflichtmodul (Informatik; Bioinformatisch relevante Informatik)</li> <li>- 679 B.Sc. Angewandte Informatik: Wahlpflichtmodul (INT)</li> </ul>
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	4 SWS Vorlesung/Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Bilddatenstrukturen, Mathematische Beschreibung und Schätzung von Störprozessen, Theorie linearer Systeme, Bildvorverarbeitung und -verbesserung im Ortsbereich, Fourieranalyse, Bildvorverarbeitung und -verbesserung im Frequenzbereich, Nicht-lineare Filter, Farbbildverarbeitung, Multiskalenanalyse, einfache Bildmerkmale und deren Extraktion, Segmentierung (Linien, Regionen, Textur), Grundlagen der Bewegungsberechnung, Grundlagen der 2-D Objekterkennung

Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen grundlegende mathematische Methoden und Techniken der digitalen Bildverarbeitung um Verfahren zur Bildverbesserung, Extraktion von 2D Information aus Bildern sowie deren Interpretation zu realisieren. Die Studierenden sind ebenfalls in der Lage kommerzielle Tools (MATLAB) zu nutzen, um einfache Systeme zur Verarbeitung und Interpretation von Bildinformation zu implementieren. Studierende erhalten damit Einblick, wie intelligente Systeme von Kameras aufge-nommene Daten verarbeiten und interpretieren können. Im Bereich der Master-Studiengänge werden im Rahmen der Übungsserien Einblicke in die theoretischen Grundlagen der vorgestellten Verfahren anhand spezieller Übungsaufgaben gegeben.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	60 % der erreichbaren Punkte aus den Übungsaufgaben
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur (60 Min.) oder mündliche Prüfung Abgestufte (Prüfungs-)Anforderungen berücksichtigen das von Bachelor- und Masterstudierenden jeweils erwartbare Leistungsniveau.
Empfohlene Literatur	Gonzalez, Woods: Digital Image Processing. Prentice Hall. 2002. Tönnies: Grundlagen der Bildverarbeitung. Pearson. 2005.

Modul <b>FMI-IN0075</b> Objektorientierte Programmierung	
Modulcode	FMI-IN0075
Modultitel (deutsch)	Objektorientierte Programmierung
Modultitel (englisch)	Object-oriented Programming
Modul-Verantwortliche/r	Wolfram Amme
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	FMI-IN0025 Grundlagen informatischer Problemlösung
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 079 LA Regelschule Informatik: Pflichtmodul</li> <li>- 079 LA Gymnasium Informatik: Pflichtmodul</li> <li>- 079 LA RS (Erweiterung) Informatik: Pflichtmodul</li> <li>- 079 LA Gym (Erweiterung) Informatik (PO-V. 2020): Pflichtmodul</li> <li>- 079 B.Sc. Informatik: Pflichtmodul (Konto A)</li> <li>- 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (NF Informatik)</li> <li>- 105 M.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (NF Informatik)</li> <li>- 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module)</li> <li>- 200 M.Sc. Computational and Data Science: Wahlpflichtmodul</li> </ul>
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	150 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>Zentrales Thema der Vorlesung/Übung ist die Behandlung objektorientierter Programmierkonzepte (wie Klassen, Objekte, Felder, Methoden, Vererbung, Schnittstellen, generische Programmierung, etc.). Neben der allgemeinen Betrachtung wird zudem die Realisierung der Konzepte in modernen, gegenwärtig verwendeten, objektorientierten Programmiersprachen vorgestellt.</p> <p>Weitere Teile der Vorlesung behandeln vertieft objektorientierte Modellierungstechniken sowie Aspekte des nebenläufigen objektorientierten Programmentwurfs.</p> <p>In der Übung sollen die in der Vorlesung erworbenen Kenntnisse gefestigt werden.</p>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundkenntnisse objektorientierter Programmierkonzepte und deren Anwendbarkeit</li> <li>- Beherrschung einer objektorientierten Programmiersprache</li> <li>- Fähigkeit zur objektorientierten Modellierung</li> <li>- Grundverständnis für nebenläufige Programmausführungen</li> </ul>

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	50% der erreichbaren Punkte aus den Übungsaufgaben
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung
Zusätzliche Informationen zum Modul	Lehramt Informatik Gymnasium: Das Modul wird in die Berechnung der Endnote aufgenommen
Empfohlene Literatur	Niemeyer, Peck: Learning Java. O'Reilly Verlag. 2005. Middendorf, Singer, Heid: Java: Programmierhandbuch und Referenz für die Java-2-Plattform. dpunkt.verlag. 2002

Modul <b>FMI-MA0207</b> Höhere Analysis 1	
Modulcode	FMI-MA0207
Modultitel (deutsch)	Höhere Analysis 1
Modultitel (englisch)	Higher Analysis I
Modul-Verantwortliche/r	David Hasler, Dorothee Haroske, Daniel Lenz, Tobias Oertel-Jäger
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	<b>B.Sc. Mathematik:</b> FMI-MA0201 Analysis 1 und FMI-MA0202 Analysis 2, FMI-MA0301 Algebra/Geometrie 1 <b>M.Sc. Wirtschaftsmathematik:</b> keine <b>B.Sc. Physik :</b> keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Kenntnisse in Maß- und Integrationstheorie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	- 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (Erweiterung: Reine Mathematik; Vertiefung: Analysis) - 128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Freier Wahlpflichtbereich) - 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module) - 200 M.Sc. Computational and Data Science: Wahlpflichtmodul - 276 M.Sc. Wirtschaftsmathematik (PO-V. 2010): Wahlpflichtmodul (Sonstige Mathematik)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	4 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	9 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	270 h 90 h 180 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Normierte Räume</li> <li>• Funktionale und Operatoren</li> <li>• Der Satz von Hahn-Banach</li> <li>• Die Hauptsätze für Operatoren auf Banachräumen</li> <li>• Operatoren in Hilberträumen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden gewinnen aufbauend auf Grundkenntnissen der Analysis und der Linearen Algebra Einsicht und Intuition in die funktionalanalytische Denkweise. Die Grundprinzipien der Funktionalanalysis werden sicher beherrscht.</li> <li>• Es wird Basiswissen für weiterführende Studien in der Analysis, der Numerischen Mathematik und des wiss. Rechnens, der Optimierung und der Stochastik erworben.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung oder Klausur
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dirk Werner: Funktionalanalysis. 5. erw. Aufl., Springer, Berlin 2005.</li><li>• Dirk Werner: Einführung in die höhere Analysis. Springer, Berlin 2006.</li><li>• Hans Triebel: Higher Analysis. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1992.</li><li>• Friedrich Hirzebruch, Winfried Scharlau: Einführung in die Funktionsanalysis. Bibliogr. Inst., Mannheim 1971.</li><li>• Jürgen Appell, Martin Väth: Elemente der Funktionalanalysis. Vieweg, Wiesbaden 2005.</li></ul>

Modul <b>FMI-MA0243</b> Funktionentheorie 1	
Modulcode	FMI-MA0243
Modultitel (deutsch)	Funktionentheorie 1
Modultitel (englisch)	Complex Analysis 1
Modul-Verantwortliche/r	Jonas Sauer
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	<b>B.Sc. Mathematik:</b> FMI-MA0201 Analysis 1 und FMI-MA0202 Analysis 2 <b>Lehramt Mathematik Gymnasium:</b> FMI-MA3009 Analysis 1, FMI-MA3010 Analysis 2 und FMI-MA3011 Analysis 3
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	FMI-MA7001 Analysis 1 und FMI-MA7002 Analysis 2
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	- 105 LA Gymnasium Mathematik: Wahlpflichtmodul (Analysis) - 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (Erweiterung: Reine Mathematik; Vertiefung: Analysis) - 128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Freier Wahlpflichtbereich) - 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	3 SWS Vorlesung 1 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	- Holomorphe Funktionen - Komplexe Kurvenintegrale, Cauchy-Integralsatz und -formel - Laurentreihen und Singularitäten, Residuensatz - Konforme Abbildungen
Lern- und Qualifikationsziele	Erweiterung und Vertiefung der Kenntnisse und Fähigkeiten in der Analysis
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Schriftliche oder mündliche Prüfung (100%) Die Art der Prüfung wird zu Beginn der Veranstaltung festgelegt.
Zusätzliche Informationen zum Modul	MLG: Das Modul könnte in die Berechnung der Endnote aufgenommen werden.
Empfohlene Literatur	R. Remmert: Funktionentheorie I,II E. Freitag / R. Busam: Funktionentheorie H. Fischer / H. Kaul: Mathematik für Physiker 1

Modul <b>FMI-MA0406</b> Klassische Differentialgeometrie - 9 LP	
Modulcode	FMI-MA0406
Modultitel (deutsch)	Klassische Differentialgeometrie - 9 LP
Modultitel (englisch)	Classical Differential Geometry - 9 CP
Modul-Verantwortliche/r	Vladimir Matveev
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	<b>BSc Mathematik:</b> FMI-MA0201 Analysis 1 und FMI-MA0202 Analysis 2, FMI-MA0301 Algebra/Geometrie 1 <b>BSc Physik:</b> keine <b>MSc Wima:</b> keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	FMI-MA0302 Algebra/Geometrie 2 <b>B.Sc. Physik :</b> FMI-MA7001 Analysis 1 und FMI-MA7002 Analysis 2, FMI-MA7011 Lineare Algebra und Analytische Geometrie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	- 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (Erweiterung: Reine Mathematik; Vertiefung: Geometrie) - 128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Freier Wahlpflichtbereich) - 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module) - 200 M.Sc. Computational and Data Science: Wahlpflichtmodul - 276 M.Sc. Wirtschaftsmathematik (PO-V. 2010): Wahlpflichtmodul (Sonstige Mathematik)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	4 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	9 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	270 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	180 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kurven in der Ebene und im dreidimensionalen Raum</li> <li>Lokale Theorie von Flächen in <math>R^3</math></li> <li>Theorema Egregium von Gauss</li> <li>Geodätische, Satz von Hopf-Rinow</li> <li>Minimalflächen</li> <li>Globale Theorie von Flächen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erlernen von Methoden der Differentialgeometrie und deren Anwendungen</li> <li>Nachweis der Fähigkeit zu wissenschaftlicher Arbeit</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	ggfs. Bearbeitung von Übungsaufgaben (Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung

Zusätzliche Informationen zum  
Modul

Empfohlene Literatur

- Lehrbücher nach Empfehlung der Dozenten
- Wolfgang Kühnel: Differentialgeometrie: Kurven – Flächen –  
Mannigfaltigkeiten. Vieweg, Braunschweig 1999.

Modul <b>FMI-MA0445</b> Mathematische Methoden der klassischen Mechanik - 6 LP	
Modulcode	FMI-MA0445
Modultitel (deutsch)	Mathematische Methoden der klassischen Mechanik - 6 LP
Modultitel (englisch)	Mathematical methods of classical mechanics - 6 CP
Modul-Verantwortliche/r	Vladimir Matveev
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	FMI-MA0201 Analysis 1 und FMI-MA0202 Analysis 2, FMI-MA0301 Algebra/Geometrie 1
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	FMI-MA0302 Algebra/Geometrie 2
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	- 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (Erweiterung: Reine Mathematik; Erweiterung: Angewandte Mathematik+Stochastik; Vertiefung: Geometrie) - 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	3 SWS Vorlesung 1 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen der klassischen Hamiltonschen Mechanik</li> <li>Differentialformen</li> <li>Symplektische Geometrie und integrale Systeme</li> <li>Anwendungen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vertiefendes Erlernen von modernen Methoden der Physik und Mathematik</li> <li>Erwerb von Kenntnissen auf dem Gebiet der Differentialgeometrie, dynamische Systeme</li> <li>Nachweis der Fähigkeit zu wissenschaftlicher Arbeit</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	aktive Mitarbeit in den Übungen
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lehrbücher nach Empfehlung der Dozenten</li> <li>Vladimir Arnold: Mathematische Methoden der klassischen Mechanik. Dt. Verl. d. Wiss., Berlin 1988.</li> </ul>

Modul <b>FMI-MA0446</b> Klassische Differentialgeometrie - 6 LP	
Modulcode	FMI-MA0446
Modultitel (deutsch)	Klassische Differentialgeometrie - 6 LP
Modultitel (englisch)	Classical differential geometry
Modul-Verantwortliche/r	Vladimir Matveev
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	<p><b>BSc Mathematik:</b> FMI-MA0201 Analysis 1 und FMI-MA0202 Analysis 2, FMI-MA0301 Algebra/Geometrie 1</p> <p><b>BSc Physik:</b> FMI-MA7001 Analysis 1 und FMI-MA7002 Analysis 2, FMI-MA7011 Algebra/Geometrie 1</p> <p><b>MSc Wima:</b> keine</p>
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	FMI-MA0302 Algebra/Geometrie 2
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 105 B.Sc. Mathematik: Wahlpflichtmodul (Erweiterung: Reine Mathematik; Vertiefung: Geometrie)</li> <li>- 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module)</li> <li>- 200 M.Sc. Computational and Data Science: Wahlpflichtmodul</li> <li>- 276 M.Sc. Wirtschaftsmathematik (PO-V. 2010): Wahlpflichtmodul (Sonstige Mathematik)</li> </ul>
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	<p>3 SWS Vorlesung</p> <p>1 SWS Übung</p>
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurven in der Ebene und im dreidimensionalen Raum</li> <li>• Lokale Theorie von Flächen in <math>\mathbb{R}^3</math></li> <li>• Theorema Egregium von Gauss</li> <li>• Geodätische, Satz von Hopf-Rinow</li> <li>• Minimalflächen</li> <li>• Globale Theorie von Flächen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlernen von Methoden der Differentialgeometrie und deren Anwendungen</li> <li>• Nachweis der Fähigkeit zu wissenschaftlicher Arbeit</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	aktive Mitarbeit in den Übungen
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung

Empfohlene Literatur

- Lehrbücher nach Empfehlung der Dozenten
- Wolfgang Kühnel: Differentialgeometrie: Kurven – Flächen – Mannigfaltigkeiten. Vieweg, Braunschweig 1999.

Modul <b>FMI-MA1212</b> Höhere Analysis 2	
Modulcode	FMI-MA1212
Modultitel (deutsch)	Höhere Analysis 2
Modultitel (englisch)	Higher Analysis 2
Modul-Verantwortliche/r	Daniel Lenz
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Kenntnisse der Maß- und Integrationstheorie Modul FMI-MA0207 Höhere Analysis 1
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	- 105 M.Sc. Mathematik (PO-V. 2010): Wahlpflichtmodul (Reine Mathematik; Vertiefung Analysis) - 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Nicht-physikalische Module) - 276 M.Sc. Wirtschaftsmathematik (PO-V. 2010): Wahlpflichtmodul (Sonstige Mathematik)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	4 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	9 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	270 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	180 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Theorie von Riesz, Schauder und Fredholm</li> <li>Spektraltheorie kompakter Operatoren</li> <li>Integralgleichungen</li> <li>Spektraltheorie selbstadjungierter Operatoren oder Distributionen und Elemente der harmonischen Analysis</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden erwerben umfassende und fortgeschrittene Kenntnisse der Methoden und Konzepte der Funktionalanalysis.</li> <li>Sie erkennen die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und den universellen Charakter einer zunächst abstrakten Theorie.</li> <li>Sie bereiten sich auf das vertiefende Studium in Spezialisierungsrichtungen der Analysis und verwandten Gebieten vor.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung

## Empfohlene Literatur

Dirk Werner: Funktionalanalysis. 6. korrig. Aufl., Springer, Berlin 2007.  
Hans Triebel: Higher Analysis. Barth, Leipzig 1992.  
Jürgen Appell, Martin Väth: Elemente der Funktionalanalysis. Vieweg, Wiesbaden 2005.  
Walter Rudin: Functional Analysis. Mc Craw-Hill, New York 1991.  
Kosaku Yosida: Functional Analysis. Springer, Berlin 1995

Modul <b>MC2.1.8</b> Theoretische Chemie I	
Modulcode	MC2.1.8
Modultitel (deutsch)	Theoretische Chemie I
Modultitel (englisch)	Theoretical Chemistry I
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Stefanie Gräfe; Dr. Dirk Bender
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	--
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	Voraussetzung für Modul MC 3.1.8 (Vertiefungsfach Theoretische Chemie II)
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	Wahlpflichtmodul (Vertiefungsfach)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung, 4 SWS Praktikum
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	105 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>In Vorlesung und Übung werden den Studenten „Ab initio“- Methoden, das Konzept der Mehrelektronenwellenfunktionen, das Lösen der Energieeigenwertgleichung, die Hartree-Fock-Näherung und Basissätze vermittelt.</p> <p>Das Praktikum beinhaltet eine Einführung in das Betriebssystem Linux und vermittelt grundlegende Programmierkenntnisse. Im zweiten Teil des Praktikums liegt der Fokus auf der Umsetzung der theoretischen Konzepte in verschiedenen Quantenchemiepaketen. Vorkenntnisse zum Betriebssystem (Linux) und zur Programmierung sind nicht erforderlich.</p>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>Kennenlernen der Grundlagen der „Ab initio“-Methoden. Durchführen von quantenchemischen Rechnungen mit Anwendungen zur molekularen Struktur, zur chemischen Bindung, zu Molekülorbitalen, zur Koordinationschemie, zur Kinetik, zur Thermodynamik</p> <p>Im Praktikum: Kennenlernen der Grundlagen der strukturierten Programmierung mit FORTRAN sowie elementare Befehle und Konzepte des Betriebssystems Linux.. Durchführen von grundlegenden und fortgeschrittenen quantenchemischen Rechnungen mit Anwendungen zur molekularen Struktur, zur chemischen Bindung, zu Molekülorbitalen, zur Koordinationschemie, zur Kinetik, zur Thermodynamik und zur Spektroskopie. Interpretation der Ergebnisse. Kalibrierung der Methoden.</p>

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Erfolgreich absolviertes Praktikum und Vortrag sind Voraussetzung für die Teilnahme an der Prüfung.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche oder schriftliche Prüfung zum vermittelten Stoff aus Vorlesung, Seminar und Praktikum (50%), Vortrag (25%), Praktikum mit schriftlichen Praktikumsprotokollen (25%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	Eine nicht bestandene Prüfung kann zweimal wiederholt werden. Auf Antrag kann die zweite Wiederholung in Form einer mündlichen Prüfung erfolgen. Ein nicht bestandener Vortrag kann einmal wiederholt werden.
Empfohlene Literatur	--
Unterrichtssprache	--

Modul <b>MC3.1.8 Theoretische Chemie II</b>	
Modulcode	MC3.1.8
Modultitel (deutsch)	Theoretische Chemie II
Modultitel (englisch)	Theoretical Chemistry II
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Stefanie Gräfe; Dr. Dirk Bender
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Bestandene mündl./schriftl. Prüfung MC 2.1.8 (Vertiefungsfach Theoretische Chemie I)
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	--
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	Voraussetzung für die Anfertigung der Masterarbeit, wenn als Vertiefungsfach gewählt
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	Wahlpflichtmodul (Vertiefungsfach)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	4 SWS Vorlesung, 1 SWS Übung, 10 SWS Praktikum
Leistungspunkte (ECTS credits)	12 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	360 h
- Präsenzstunden	225 h
- Selbststudium	135 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Aufbauend auf Modul MC 2.1.8 werden vertiefende und weiterführende Kenntnisse der fortgeschrittenen Methoden der Theoretischen Chemie vermittelt. Dies umfasst neben Elektronenkorrelationsmethoden auch eine Einführung in Grundlagen und Anwendungen der zeitabhängigen Schrödinger-Gleichung. Begleitend hierzu und aufbauend auf Modul MC 2.1.8 erfolgt im Praktikum die Umsetzung der theoretischen Konzepte. Ergänzend werden im 2. Teil des Praktikums numerische Methoden zur Lösung der zeitabhängigen Schrödinger-Gleichung eingesetzt. Das Praktikum bereitet auf die Masterarbeit vor und wird zum Teil in den Arbeitsgruppen des Instituts absolviert.
Lern- und Qualifikationsziele	Kennenlernen der den fortgeschrittenen hoch korrelierten „Ab initio“-Methoden und der DFT zu Grunde liegenden Konzepte. Kennenlernen der zeitabhängigen Schrödinger-Gleichung und der den Molecular Dynamics-Simulationen zu Grunde liegenden Konzepte. Kennenlernen numerischer Methoden, Konzepte und Algorithmen Im Praktikum: Durchführen von quantenchemischen Rechnungen mit Anwendungen an hoch korrelierten Problemen. Formulierung molekularer quantendynamischer Prozesse. Modellieren zeitabhängiger Experimente einschließlich optischer Spektroskopie.

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Erfolgreich absolviertes Praktikum und Vortrag sind Voraussetzung für die Teilnahme an der Prüfung.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur zum vermittelten Stoff aus Vorlesung, Seminar und Praktikum (33,4%), Vortrag (33,3%), Praktikum mit schriftlichen Praktikumsprotokollen (33,3%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	Eine nicht bestandene Prüfung kann zweimal wiederholt werden. Auf Antrag kann die zweite Wiederholung in Form einer mündlichen Prüfung erfolgen.
Empfohlene Literatur	--
Unterrichtssprache	--

Modul <b>MedPhoA1.2</b> Optical Engineering	
Modulcode	MedPhoA1.2
Modultitel (deutsch)	Optical Engineering
Modultitel (englisch)	Optical Engineering
Modul-Verantwortliche/r	Herbert Gross, Michael Kempe, Maria Dienerowitz
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	none
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	This module is part of the block „Adjustment“ of the 1st semester.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	The module is mandatory for students not having a Bachelor degree in physics. Students of physics having passed the corresponding modules during their studies do not need to participate in this course.
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	lectures: 2h/week exercises: 1h/week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to optics</li> <li>• Geometrical optics: postulates of ray optics, paraxial optics, matrix approach, raytracing</li> <li>• Simple optical components: lenses, mirrors, stops</li> <li>• Wave optics: postulates of wave optics, relation between wave optics and ray optics</li> <li>• Optical imaging: field and pupil, magnification, lens maker's formula, afocal systems</li> <li>• Photometry and illumination, color</li> <li>• Optical instruments</li> <li>• Image quality: primary aberrations, wave aberrations, correction of systems</li> <li>• Beam optics: the Gaussian beam, transmission of a Gaussian beam through optical components, beam shaping</li> <li>• Optical properties of materials: metals, ceramics, glass, polymers and composites</li> <li>• Electromagnetic optics: electromagnetic theory of light, dielectric media, elementary electromagnetic waves, absorption and dispersion</li> <li>• Optical components II: Fibers, prisms, sensors, aspheres, arrays</li> <li>• Special topics: scanning, adaptive optics, gradient index optics</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	This module provides an introduction into the fundamentals of optics and photonics which are necessary to understand optical phenomena in modern science and technology. Topics include an introduction into the theory of light (ray optics, wave optics, electromagnetic optics, photon optics), the theory of interaction of light with matter and the theory of semiconductor materials and their optical properties.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	none
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	written examination at the end of the semester
Zusätzliche Informationen zum Modul	Used media: Lectures/exercises: blackboard, projector
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• E. Hecht: Optics, 4th ed., Addison-Wesley 2001</li><li>• B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics 2nd ed., Wiley 2007.</li></ul>
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFBX411</b> Computational Physics II	
Modulcode	PAFBX411
Modultitel (deutsch)	Computational Physics II
Modultitel (englisch)	Computational Physics II
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Computational Physics I PAFBU311 Theoretische Mechanik PAFBT211 Elektrodynamik PAFBT311
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	039 M.Sc. Geowissenschaften: Wahlpflichtmodul 128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (im freien Bereich) 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul Spezialisierung Gravitations- und Quantentheorie 679 B.Sc. Angewandte Informatik: Wahlpflichtmodul (Anwendungsfach Physik) 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	Einführung in Unix und höhere Programmiersprachen (z.B.: C/C++, Fortran) Numerische Lösung partieller Differentialgleichungen Monte-Carlo Verfahren Molekulardynamische Verfahren Minimierungsprobleme
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können grundlegenden Begriffe und Konzepte der numerischen Modellierung physikalischer Probleme erklären und anwenden. Sie erwerben Fähigkeiten zum selbständigen Entwickeln numerischer Algorithmen und zur Visualisierung großer Datenmengen.

Voraussetzung für die Zulassung zur - Modulprüfung	
Voraussetzung für die Vergabe von      Klausur Leistungspunkten (Prüfungsform)	
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	Lehrbücher zu Computational Physics und Numerischer Mathematik von Hermann, DeVries, Press/Vetterling/Teukolsky/Flannery, Schwarz
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFBX511</b> Einführung in die Astronomie	
Modulcode	PAFBX511
Modultitel (deutsch)	Einführung in die Astronomie
Modultitel (englisch)	Introduction to Astronomy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Krivov
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBE111 Experimentalphysik I – Mechanik und Wärmelehre PAFBE211 Grundkurs Experimentalphysik II
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (physikalischer Bereich) 128 LAR Physik: Wahlpflichtmodul 128 LAG Physik: Wahlpflichtmodul 014 LAG Dritt Fach Astronomie: Pflichtmodul 014 LAR Dritt Fach Astronomie: Pflichtmodul 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (Vertiefung Astronomie/ Astrophysik)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 60 h 60 h
Inhalte	Was ist Astronomie? "Kosmographische" Beschreibung des Weltalls Theoretische und beobachtende Methoden der Astronomie Sphärische Astronomie, Astrometrie Himmelsmechanik, Keplersche Gesetze Sonnensystem Sonne und Sterne Milchstraßensystem Galaxien Kosmologie

Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können die unter den Inhalten genannten Themen, Phänomene und Konzepte der Astronomie wiedergeben und erläutern. Sie können einfache Aufgaben aus den verschiedenen Teilgebieten selbstständig lösen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	Karttunen, Kröger, Oja, Poutanen, Donner, Fundamental Astronomy (Springer), Unsöld, Baschek, Der neue Kosmos (Springer), Voigt, Abriss der Astronomie (BI Wissenschaftsverlag)
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFBX521</b> Relativistische Physik	
Modulcode	PAFBX521
Modultitel (deutsch)	Relativistische Physik
Modultitel (englisch)	Relativistic Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Meinel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBT211 Theoretische Mechanik PAFBT311 Elektrodynamik PAFBT411 Quantentheorie
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul Spezialisierung Gravitations- und Quantentheorie 128 LAR Physik: Wahlpflichtmodul 128 LAG Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Spezielle Relativitätstheorie (Relativitätsprinzip; Konstanz der Lichtgeschwindigkeit; Relativität der Gleichzeitigkeit; Raumzeit; Lichtkegel; Eigenzeit; Lorentz-Transformationen; Vierervektoren; Relativistische Mechanik, Elektrodynamik, Hydrodynamik) Allgemeine Relativitätstheorie (Grundideen; Riemannsche Geometrie; Physikalische Gesetze im Riemannschen Raum; Einsteinsche Feldgleichungen; Newtonscher Grenzfall; Schwarzschild-Lösung; Klassische Effekte der ART; Kugelsymmetrische Sternmodelle; Schwarze Löcher)
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können Grundlagen und Methoden der speziell- und allgemein-relativistischen Physik erläutern und zum Lösen einfacher Aufgaben selbstständig anwenden.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zur Semesterbeginn bekannt gegeben)

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur (ggfs. mündliche Prüfung). Details werden zu Beginn der Veranstaltungen bekannt gegeben.
Zusätzliche Informationen zum Modul	-
Empfohlene Literatur	Literatur wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFLA017</b> Milchstraßensystem	
Modulcode	PAFLA017
Modultitel (deutsch)	Milchstraßensystem
Modultitel (englisch)	Milky Way Galaxy
Modul-Verantwortliche/r	apl. Prof. Dr. K. Schreyer
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS, Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	Aufbau und Kinematik des Sternsystems, Grundgleichung der Stellarstatistik, Umgebung der Sonne, Galaktische Rotation, Oortsche Konstanten, Konzepte der Spiralstruktur, Interstellare Materie, Sternhaufen und Populationen, Satellitensysteme, Entstehung und Zukunft der Milchstraße
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden können grundlegende Elemente der Milchstraße benennen sowie die großräumige Kinematik der Sterne und der interstellaren Materie beschreiben. Außerdem können sie Modelle zur Entstehung, Beschreibung und Entwicklung der Spiralstruktur der Milchstraße erläutern.</li> <li>Die Studierenden können eigenständig Übungsaufgaben auf diesem Gebiet lösen.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%); Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.

Zusätzliche Informationen zum Modul	Es ist sichergestellt, dass in jedem Semester ausreichend Wahlpflichtmodule angeboten werden. Diese sind in Friedolin hinterlegt.
Empfohlene Literatur	Scheffler H., Elsässer, H.: Bau und Physik der Galaxis; Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M., Donner, K.J.: Astronomie – Eine Einführung; Unsöld, A., Baschek, B.: Der neue Kosmos.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFLX811</b> Kontinuumsmechanik	
Modulcode	PAFLX811
Modultitel (deutsch)	Kontinuumsmechanik
Modultitel (englisch)	Continuum Mechanics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Meinel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module zur Elektrodynamik PAFBT311 oder PAFGT411
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 LAG Physik: Wahlpflichtmodul 128 LAR Physik: Wahlpflichtmodul 128 MSc. Physik Vertiefung "Gravitations- und Quantentheorie": Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 1 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mechanik deformierbarer Körper (Bahnkurven, Stromlinien, Wirbel, Potentialströmungen, Tensor der Deformationsgeschwindigkeit)</li> <li>Bilanzgleichungen</li> <li>Materialgleichungen (Spannungs-Dehnungs-Diagramm, Hooksches Gesetz, Zustandsgleichungen, Reibungsgesetz)</li> <li>Lineare Elastizitätstheorie (Torsion, Biegung, Wellen, Schwingungen)</li> <li>Hydrodynamik (Strömungen, Kraft auf umströmte Gegenstände, Zirkulations- und Wirbelsätze, Ähnlichkeitsgesetze, Turbulenz, Grenzschichten)</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können grundlegende Begriffe, Phänomene und Konzepte der Kontinuumsmechanik erläutern und zum selbständigen Lösen von Aufgaben aus diesem Gebiet anwenden.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Schriftliche Prüfung (100%)

Empfohlene Literatur	Literatur wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFMA001</b> Physik der Sterne	
Modulcode	PAFMA001
Modultitel (deutsch)	Physik der Sterne
Modultitel (englisch)	Stellar Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Pflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Pflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	4 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Entstehung und Entwicklung von Sternen als Funktion der Masse durch das Hertzsprung-Russell Diagramm, Sternatmosphären, Spektroskopie, Photometrie, Kernfusion als Energiequelle
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können grundlegende Begriffe, Phänomene und Konzepte der Stellarphysik einordnen und anwenden, sie sind in der Lage, Aufgaben und Problemen der Stellarphysik selbstständig zu bearbeiten und zu lösen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Übungsbewertung (100%). Details werden zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scheffler, Elsässer, Physik der Sterne und der Sonne (BI), sehr ausführlich, sehr gut</li> <li>• Carroll, Ostlie, Introduction to Modern Astrophysics (Addison-Wesley), englisch, sehr gute Einführung</li> <li>• Stahler, Palla, The formation of stars (Wiley-VCH, 2004), englisch, sehr ausführlich, sehr gut, sehr aktuell</li> <li>• Unsöld, Baschek, Der neue Kosmos (Springer), ausführlich, aktuell und gut geeignet</li> </ul>

Unterrichtssprache

Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMA002</b> Astronomische Beobachtungstechnik	
Modulcode	PAFMA002
Modultitel (deutsch)	Astronomische Beobachtungstechnik
Modultitel (englisch)	Astronomical Observing Techniques
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie PAFMA001 Physik der Sterne
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Dritt Fach Astronomie: Pflichtmodul 014 LAR Dritt Fach Astronomie: Pflichtmodul 128 MSc Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strahlungstheorie, Leuchtkraft</li> <li>CCD-Detektoren, Datenreduktion</li> <li>Aufbau und Funktion optischer und Infrarot-Teleskope</li> <li>Grundlagen der Infrarot-Astronomie</li> <li>Speckle-Technik, Adaptive Optik, Interferometrie</li> <li>Radioastronomie: Teleskope und Wissenschaft</li> <li>Ultraviolett-, Röntgen- und Gamma-Astronomie</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können Methoden der beobachtenden Astronomie in allen Wellenlängen erklären und zur Beobachtung und Datenauswertung anwenden. Sie können die Teleskoptechnik in allen Wellenlängen erklären.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Übungsbewertung (100%). Details werden zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Karttunen, Kröger, Oja, Poutanen, Donner, Astronomie – eine Einführung (Springer)</li> <li>Unsold, Baschek, Der neue Kosmos (Springer)</li> <li>Weigert, Wendker, Wisotzki, Astronomie und Astrophysik: ein Grundkurs (Wiley VCH)</li> </ul>

Unterrichtssprache

Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMA003</b> Himmelsmechanik	
Modulcode	PAFMA003
Modultitel (deutsch)	Himmelsmechanik
Modultitel (englisch)	Celestial Mechanics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Krivov
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS, Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwei-Körper Problem;</li> <li>• eingeschränktes Drei-Körper-Problem;</li> <li>• gestörte Bewegungen;</li> <li>• Dynamik der Planetensysteme: resonante, säkulare und periodische Störungen;</li> <li>• Chaos und Stabilität;</li> <li>• moderne Erweiterungen: relativistische Himmelsmechanik;</li> <li>• nichtgravitative Himmelsmechanik, Astrodynamik</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können grundlegende Begriffe, Probleme und Methoden der klassischen und modernen Himmelsmechanik erklären und auf verschiedene astronomische Probleme anwenden. Sie können vergleichsweise einfache Aufgaben aus diesen Gebieten lösen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Übungsbewertung (100%). Details werden zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Murray, Dermott: Solar System Dynamics (Cambridge Univ. Press);</li> <li>• Danby: Fundamentals of Celestial Mechanics (Willmann-Bell)</li> </ul>

Unterrichtssprache

Deutsch oder Englisch

Modul <b>PAFMA004</b> Astronomisches Praktikum	
Modulcode	PAFMA004
Modultitel (deutsch)	Astronomisches Praktikum
Modultitel (englisch)	Astronomical Practicum
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Einführung in die Astronomie und Physik der Sterne oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Pflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Pflichtmodul 128 LAG Physik: Wahlpflichtmodul 128 LAR Physik: Wahlpflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	1 SWS Vorlesung 3 SWS Praktikum
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spektroskopie und Photometrie am Teleskop</li> <li>• interstellarer Staub,</li> <li>• Sternentstehung</li> <li>• Infrarot-Astronomie</li> <li>• Neutronenstern-Kinematik</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Funktionsweise und Beobachtung von Sternen, Staublaborversuche, Datenauswertung, Fehlerrechnung
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Erarbeitung der Protokolle (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Protokollnote (100%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voigt, Abriss der Astronomie (BI Wissenschaftsverlag)</li> <li>• Unsöld, Baschek, Der neue Kosmos (Springer)</li> <li>• Scheffler, Elsässer, Physik der Sterne und der Sonne (BI)</li> <li>• Carroll, Ostlie, Intro to Modern Astrophysics (Addison-Wesley)</li> </ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch



Modul <b>PAFMA005</b> Physik der Planetensysteme	
Modulcode	PAFMA005
Modultitel (deutsch)	Physik der Planetensysteme
Modultitel (englisch)	Physics of Planetary Systems
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Krivov
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Pflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Pflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	4 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Teil 1 „Entdeckung und Eigenschaften“ (Prof. Dr. Artie Hatzes): Detektionsmethoden von Exoplaneten (Radialgeschwindigkeit, Astrometrie, Transit, Direktaufnahme, Mikrolensing, Interferometrie); beobachtete Eigenschaften und Diversität von Planetensystemen;</li> <li>Teil 2 „Entstehung und Entwicklung“ (Prof. Dr. Alexander Krivov): Theorie der Planetenentstehung (Akkretionsscheibe, Staub-Gas-Wechselwirkung, Agglomeration vom Staub zu Planetesimalen, Wachstum der Planetesimalen zu Embryonen, Entstehung der Riesen- und terrestrischen Planeten, Migration, Trümmerscheiben), Entwicklung von Planetensystemen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können Eigenschaften, Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems und extrasolarer Planetensysteme erklären. Sie können vergleichsweise einfache Aufgaben aus diesen Gebieten lösen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder ggfs. mündliche Prüfung. Details werden zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Safronov, Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the Earth and the planets</li><li>• Armitage: Astrophysics of Planet Formation (Cambridge University Press)</li><li>• "Protostars and Planets III-VI" (Univ. Arizona Press)</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMA006</b> Terra-Astronomie	
Modulcode	PAFMA006
Modultitel (deutsch)	Terra-Astronomie
Modultitel (englisch)	Terra Astronomy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung ggfs. 2 SWS Seminar
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonnenaktivität und –wind;</li> <li>• kosmische Strahlung und ihre Quellen;</li> <li>• Supernovae und ihre Überreste;</li> <li>• Neutronensterne;</li> <li>• Gamma-Ray-Bursts;</li> <li>• Radionuklide auf der Erde;</li> <li>• Auswirkung kosmischer Ereignisse auf Erde und Biosphäre;</li> <li>• historische Beobachtungen zur Rekonstruktion der Sonnenaktivität</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können grundlegende Begriffe, Phänomene und Konzepte der Terra-Astronomie erklären und unterscheiden. Sie können Aufgaben aus diesen Gebieten selbstständig lösen sowie Themen der Terra-Astronomie selbstständig vortragen. Sie können Beiträge aus Natur- und Geisteswissenschaften verknüpfen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder ggfs. bewertete Übung oder mündliche Prüfung oder Seminarvortrag. Details werden zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.

Zusätzliche Informationen zum Modul	Modul wird alle 4 Semester angeboten
Empfohlene Literatur	Lehrbücher zur Sonnenphysik (z.B. Vaquero & Vasquez) und Supernovae (z.B. Stephenon & Green)
Unterrichtssprache	deutsch oder englisch (nach Teilnehmerwünschen)

Modul <b>PAFMA007</b> Neutronensterne	
Modulcode	PAFMA007
Modultitel (deutsch)	Neutronensterne
Modultitel (englisch)	Neutron Stars
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie PAFMA001 Physik der Sterne
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittach Astronomie: Wahlpflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entwicklung von Sternen als Funktion der Masse;</li> <li>nach Hauptreihen-Entwicklung;</li> <li>Endstadien: weiße Zwerge;</li> <li>Neutronensterne, schwarze Löcher, Supernovae, Supernova-Überreste;</li> <li>Hochenergie-Astrophysik: Röntgen- und Gamma-Strahlung</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können die Entwicklung von Sternen verschiedener Massen, ihre Endstadien, sowie Methoden der Hochenergie-Astrophysik wiedergeben und erklären.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder ggfs. bewertete Übung oder mündliche Prüfung (100%). Details werden zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unsold, Baschek, Der neue Kosmos (Springer);</li> <li>Scheffler, Elsässer, Physik der Sterne und der Sonne (BI);</li> <li>Longair, High Energy Astrophysics vol. 1 &amp; 2 (Cambridge);</li> <li>Lorimer, Kramer, Handbook of Pulsar Astronomy (Cambridge);</li> <li>Haensel, Potekhin, Yakovlev, Neutron stars (Springer)</li> </ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch



Modul <b>PAFMA010</b> Einführung in die Radioastronomie	
Modulcode	PAFMA010
Modultitel (deutsch)	Einführung in die Radioastronomie
Modultitel (englisch)	Introduction to Radio Astronomy
Modul-Verantwortliche/r	Apl. Prof. Dr. K. Schreyer, Dr. M. Hoeft
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen der Radioastronomie;</li> <li>Überblick über Konzepte, Methoden und Techniken moderner Radioteleskope und -beobachtungen;</li> <li>Exemplarische Vorstellung aktueller Themen der Forschung mit diesen Teleskopen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können grundlegende Begriffe, Phänomene und Konzepte der Radioastronomie (sub-mm bis Meterwellenlängen) erklären, eigene Beobachtungen mit einem Radioteleskop vorbereiten, durchführen und auswerten.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	Besichtigung des SRT Jena und (bei Interesse) eine Exkursion zur Station des Low Frequency Arrays (LOFAR) in Tautenburg

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rohlfs: „Tools of Radio Astronomy“ (Springer)</li><li>• Burke, Graham-Smith: „An introduction to radio astronomy“ (Cambridge Univ. Press)</li><li>• Thompson: „Interferometry and synthesis in radio astronomy“ (Wiley)</li><li>• Wilson: „Tools of radio astronomy: problems and solutions“ (Springer)</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMA011</b> Das Sonnensystem	
Modulcode	PAFMA011
Modultitel (deutsch)	Das Sonnensystem
Modultitel (englisch)	The Solar System
Modul-Verantwortliche/r	Dr. habil. T. Löhne
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M. Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul 014 LAG Drittach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittach Astronomie: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überblick und historischer Abriss;</li> <li>• Erdähnliche Planeten;</li> <li>• Kleinkörper: Asteroiden und Kometen;</li> <li>• Sonnenwind und Magnetfelder;</li> <li>• Interplanetares Medium und Meteoroiden;</li> <li>• Oberflächenmodifikationen;</li> <li>• Altersbestimmung;</li> <li>• Gas- und Eisriesen;</li> <li>• Monde und Ringe;</li> <li>• Elementverteilung;</li> <li>• Entwicklung;</li> <li>• Habitabilität und Vergleich mit extrasolaren Systemen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können die Struktur und Entwicklung des Sonnensystems und seiner Bestandteile wiedergeben, wesentliche physikalische Prozesse, Zusammenhänge, Modelle und Messmethoden erklären sowie einfache Aufgaben aus diesem Gebiet selbstständig lösen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben. (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%). Details werden zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Weissman u.a. (Hrsg.): Encyclopedia of the Solar System (Academic Press)</li><li>• Encrenaz u.a.: The Solar System (Springer)</li><li>• Gürtler, Dorschner: Das Sonnensystem (Barth)</li><li>• de Pater, Lissauer: Planetary Sciences (Cambridge U. Press)</li><li>• Jones: Discovering the Solar System (Wiley)</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMA014</b> Kosmologie	
Modulcode	PAFMA014
Modultitel (deutsch)	Kosmologie
Modultitel (englisch)	Cosmology
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. H. Cartarius, Prof. Dr. H. Gies
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 128 M.Sc. Physik in der Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“ und „Gravitations- und Quantentheorie“: Wahlpflichtmodul 128 B.Sc. Physik (freier Bereich): Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 3 SWS, Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 75 h 105 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Robertson-Walker-Kosmen;</li> <li>• Friedmansche Weltmodelle;</li> <li>• Kosmologisch relevante astronomische Beobachtungen;</li> <li>• Modelle mit kosmologischer Konstante;</li> <li>• Horizonte;</li> <li>• Inflation;</li> <li>• Thermische Geschichte des frühen Universums;</li> <li>• Strukturbildung.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können die Probleme, Methoden und Aussagen der modernen theoretischen und beobachtenden Kosmologie erklären. Sie sind in der Lage, aktuelle Fachliteratur verständnisvoll zu lesen und zu den angegebenen Schwerpunkten selbstständig Übungsaufgaben zu lösen.

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%). Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Zusätzliche Informationen zum Modul	-
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schneider, Extragalaktische Astronomie (Springer);</li><li>• Harrison: Cosmology (Cambridge University Press);</li><li>• Goenner: Einführung in die Kosmologie (Spektrum Akademischer Verlag).</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMA015</b> Historische Astronomie	
Modulcode	PAFMA015
Modultitel (deutsch)	Historische Astronomie
Modultitel (englisch)	History of Astronomy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul 014 LAG Dritt Fach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Dritt Fach Astronomie: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedeutung der Astronomie als treibende Kraft für die Entwicklung der Physik;</li> <li>• Praktische (rechnende wie beobachtende) Astronomie von der Steinzeit bis heute;</li> <li>• Lernen auf historischen Erkenntniswegen: Replikation von historischen Versuchen, Beobachtungen, Rechnungen, Fehleranalysen sowie Quellenstudium;</li> <li>• möglicherweise Programmierarbeiten</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können die Geschichte der Astronomie wiedergeben, experimentelle und rechnerische Übungsaufgaben aus dem Gebiet lösen, verschiedene Denkstile und Fertigkeiten diskutieren und historische Daten interpretieren.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Übungsaufgaben (100%). Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Zusätzliche Informationen zum Modul	ggf. archäoastronomische Exkursion möglich
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• James Evans: <i>The History and Practise of Ancient Astronomy</i>, 1998;</li> <li>• D. Kelley; E. Milone: <i>Exploring Ancient Skies: A Survey of Ancient and Cultural Astronomy</i>, 2011;</li> <li>• K. Simonyi: <i>Kulturgeschichte der Physik</i>, 2001</li> </ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, auf Nachfrage Englisch

Modul <b>PAFMA016</b> Extragalaktik	
Modulcode	PAFMA016
Modultitel (deutsch)	Extragalaktik
Modultitel (englisch)	Extragalactic Astrophysics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Hatzes
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie PAFMA001 Physik der Sterne
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul 014 LAG Drittach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittach Astronomie: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS, Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milchstraßensystem: Bestandteile des Sternsystems, Kinematik der Sterne;</li> <li>• Galaxien: Normale und aktive Galaxien, supermassareiche Schwarze Löcher, Galaxienhaufen;</li> <li>• Beobachtende Kosmologie: Entfernungsbestimmung, Supernovae, Gamma-Ray Bursts, Hintergrundstrahlung, Weltmodelle, Dunkle Materie.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden können grundlegende Begriffe, Phänomene und Konzepte der beobachtenden Extragalaktik erklären sowie auf ein Verständnis extragalaktischer und kosmologischer Phänomene anwenden.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%). Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.
Zusätzliche Informationen zum Modul	

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schneider, Extragalaktische Astronomie (Springer), sehr ausführlich, sehr aktuell;</li><li>• Unsoeld &amp; Baschek, Der neue Kosmos (Springer), sehr ausführlich zu Stellarphysik.</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMA017</b> Helio- und Asteroseismologie	
Modulcode	PAFMA017
Modultitel (deutsch)	Helio- und Asteroseismologie
Modultitel (englisch)	Helio- and Asteroseismology
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Roth
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	PAFBX511 Einführung in die Astronomie oder äquivalent
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 SWS Vorlesung 2 SWS Übung
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überblick zum inneren Aufbau und Entwicklung der Sterne</li> <li>• Typen pulsierender Sterne</li> <li>• Theoretische Beschreibung stellarer Oszillationen</li> <li>• Beobachtungstechniken</li> <li>• Spektralanalyse</li> <li>• Inversionsverfahren</li> <li>• Globale und lokale Techniken der solaren Seismologie</li> <li>• Seismologie auf Sternen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Vorlesung befähigt die Studierenden, die Theorie, Methoden und modernen Beobachtungsverfahren der Helio- und Asteroseismologie nachzuvollziehen. Nach Abschluss der Veranstaltung sind die Studierenden in der Lage, den inneren Aufbau der Sonne und der Sterne sowie die in diesen Himmelskörpern ablaufenden Prozesse zu beschreiben, einzuordnen und auf Basis wissenschaftlicher Daten fundierte Aussagen zu treffen. Zudem entwickeln sie die Fähigkeit, selbst Forschungsarbeiten im Bereich der Helio- und Asteroseismologische durchführen zu können, d.h. theoretische Modelle zu entwickeln und Daten analysieren zu können
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang der Bearbeitung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben)

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung (100%). Details werden zu Beginn des Moduls bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	Conny Aerts et al., "Asteroseismology" William Chaplin, "Music of the Sun" Joergen Christensen Dalsgaard, "Lecture Notes on Stellar Oscillations" Frank Pijpers, "Methods of helio- and asteroseismology"
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch bei Bedarf

Modul <b>PAFMA098</b> Aktuelle Forschung in der Astronomie	
Modulcode	PAFMA098
Modultitel (deutsch)	Aktuelle Forschung in der Astronomie
Modultitel (englisch)	Current Research in Astronomy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Krivov
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Einführung in die Astronomie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung "Astronomie/Astrophysik": Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 60 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	60 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterführende, vertiefende Themen aus dem Bereich der Astronomie;</li> <li>• Themen aus aktuellen Bereichen der Forschung.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertiefung in ein spezielles Gebiet der Astronomie;</li> <li>• Selbständige Bearbeitung von Übungsaufgaben;</li> <li>• Fähigkeit zur eigenständigen Literaturrecherche.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMA099</b> Aktuelle Forschung in der Astrophysik	
Modulcode	PAFMA099
Modultitel (deutsch)	Aktuelle Forschung in der Astrophysik
Modultitel (englisch)	Current Research in Astrophysics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Einführung in die Astronomie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung "Astronomie/Astrophysik": Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterführende, vertiefende Themen aus dem Bereich der Astrophysik;</li> <li>• Themen aus aktuellen Bereichen der Forschung.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertiefung in ein spezielles Gebiet der Astrophysik;</li> <li>• Selbständige Bearbeitung von Übungsaufgaben;</li> <li>• Fähigkeit zur eigenständigen Literaturrecherche.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMF001</b> Theoretische Festkörperphysik	
Modulcode	PAFMF001
Modultitel (deutsch)	Theoretische Festkörperphysik
Modultitel (englisch)	Theoretical Solid State Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. U. Peschel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übungen: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crystal structures and elastic properties of solids;</li> <li>• Electronic properties of crystals;</li> <li>• Approximate methods for electronic band structure;</li> <li>• Semiconductors and defect physics;</li> <li>• P-n junctions;</li> <li>• Microscopic description of charge transport;</li> <li>• Properties of alloys;</li> <li>• Nanostructures and interfaces;</li> <li>• Optical and dielectric properties of solids;</li> <li>• Magnetism and superconductivity.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The course covers advanced topics of solid state physics, with a specific focus on the theoretical understanding of the properties of electrons in crystals. An effort is made to remain as rigorous as possible in the theoretical and mathematical treatment, while keeping the presentation at an accessible level through the presentation of interesting applications to experiments and advanced technology. After completion of the course the students will master the relation between electronic structure of crystalline solids and their dielectric, optical, transport, magnetic properties.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben)

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur (100%)
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF002</b> Theorie der Elektronenstruktur	
Modulcode	PAFMF002
Modultitel (deutsch)	Theorie der Elektronenstruktur
Modultitel (englisch)	Electronic Structure Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. U. Peschel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul 628 MSc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 3 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	240 h 75 h 165 h
Inhalte	Introduction to the many-body problem; Wavefunction-based approaches for electronic structure; Density functional theory; Electronic excitations: beyond density functional theory.
Lern- und Qualifikationsziele	Electronic structure theory is a successful and ever-growing field, shared by theoretical physics and theoretical chemistry, that takes advantage from the increasing availability of high-performance computers. Starting only from the knowledge of the types of atoms that constitute a material (molecule, solid, nanostructure,...) students will learn how to determine without further experimental input, i.e. using only the laws of quantum physics, its structural and electronic properties. The lecture will initiate the students to the state-of-the-art theoretical and computational approaches used for electronic structure calculations. In the practical classes the students will learn through tutorials to use different software for electronic structure simulations. During the last month they will realize a small independent scientific project.

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	128 M.Sc. Physik: Spezialisierung „Festkörperphysik/ Materialwissenschaft“
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF003</b> Solid State Optics	
Modulcode	PAFMF003
Modultitel (deutsch)	Solid State Optics
Modultitel (englisch)	Solid State Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. H. Krüger
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“ und „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology: Required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	2 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to the many-body problem;</li> <li>• Wavefunction-based approaches for electronic structure;</li> <li>• Density functional theory;</li> <li>• Electronic excitations: beyond density functional theory.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Electronic structure theory is a successful and ever-growing field, shared by theoretical physics and theoretical chemistry, that takes advantage from the increasing availability of high-performance computers. Starting only from the knowledge of the types of atoms that constitute a material (molecule, solid, nanostructure,..) we will learn how to determine without further experimental input, i.e. using only the laws of quantum physics, its structural and electronic properties. The lecture will initiate the students to the state-of-the-art theoretical and computational approaches used for electronic structure calculations. In the practical classes the students will learn through tutorials to use different software for electronic structure simulations. During the last month they will realize a small independent scientific project.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Oral examination (100%)

Empfohlene Literatur	A list of Literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF006</b> Supraleitung	
Modulcode	PAFMF006
Modultitel (deutsch)	Supraleitung
Modultitel (englisch)	Superconductivity
Modul-Verantwortliche/r	apl. Prof. Dr. F. Schmidl
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Experimentalphysik I und II, Festkörper oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul 177 M.Sc. Materialwissenschaften, Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology: Required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 60 h 60 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlegende Effekte der Supraleitung;</li> <li>Kenngrößen von Supraleitern;</li> <li>Josephsoneffekte;</li> <li>Supraleitende Materialien (Klassen, Struktur, Eigenschaften);</li> <li>Herstellung (Einkristalle, Massivmaterial, Schichten, Drähte, Bänder);</li> <li>Modifikation der Materialien (Dotierung, Pinning);</li> <li>Anwendungen der Supraleitung.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung der grundlegenden Begriffe und Konzepte der Supraleitung, supraleitender Materialien und deren Anwendung;</li> <li>Schaffung anwendungsbereiter Grundkenntnisse;</li> <li>Befähigung zur selbständigen Weitervertiefung des Faches.</li> <li>Erlernen wissenschaftlichen Diskutierens</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	aktive Beteiligung an Diskussionen im Seminar und Erstellung einer Hausarbeit
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Hausarbeit und Präsentation (100%)

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF007</b> Vakuum- und Dünnschichtphysik	
Modulcode	PAFMF007
Modultitel (deutsch)	Vakuum- und Dünnschichtphysik
Modultitel (englisch)	Physics of Vacuum and Thin Films
Modul-Verantwortliche/r	apl. Prof. Dr. F. Schmidl
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Experimentalphysik I und II, Festkörper, Thermodynamik und Statistik oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul 128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (freier Bereich)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen der Vakuumphysik und deren Anwendung in Beschichtungsanlagen;</li> <li>Vakuumtechnik;</li> <li>Übersicht der Dünnschichtabscheidungsverfahren;</li> <li>Physik der Schichtbildungsprozesse und des Schichtwachstums;</li> <li>Struktur-Eigenschaftsbeziehungen;</li> <li>Mechanische und elektrische Eigenschaften;</li> <li>Dünnschichttechnologien;</li> <li>Schichtanalytik.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung der grundlegenden Begriffe und Konzepte der Vakuum- und Dünnschichtphysik;</li> <li>Schaffung anwendungsbereiter Grundkenntnisse.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%).

Unterrichtssprache

Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMF009</b> Optoelektronik	
Modulcode	PAFMF009
Modultitel (deutsch)	Optoelektronik
Modultitel (englisch)	Optoelectronics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. Soavi
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“ und „Optik“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization" 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semiconductors</li> <li>• Optoelectronic devices</li> <li>• Photodiodes</li> <li>• Light emitting diodes</li> <li>• Semiconductor optical amplifier</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	In this course the student will learn how to solve problems related to the fundamentals of semiconductor optical devices such as photodiodes, solar cells, LEDs, laser diodes and semiconductor optical amplifiers.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur (100%)
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF010</b> Ionenstrahlphysik	
Modulcode	PAFMF010
Modultitel (deutsch)	Ionenstrahlphysik
Modultitel (englisch)	Ion Beam Modification of Materials
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Ronning
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik in der Vertiefung „Festkörperphysik/ Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	Energieverlust der eingeschossenen Ionen durch nukleare und elektronische Wechselwirkung; Wirkung der übertragenen Energie im Festkörper (z.B. in Halbleitern und Keramiken); Nachweis und Modellierung der Schädenbildung und Amorphisierung; Anwendungsbeispiele.
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden lernen die grundlegenden Begriffe, Phänomene und Konzepte der Ionen-Festkörper-Wechselwirkung kennen. Sie werden befähigt, die Anwendungen von Ionenstrahlen zur Modifikation von Materialien umzusetzen.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	Literatur wird zu Veranstaltungsbeginn bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMF011</b> Graphene: Electronic and optical properties	
Modulcode	PAFMF011
Modultitel (deutsch)	Graphene: Electronic and optical properties
Modultitel (englisch)	Graphene: Electronic and optical properties
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. Soavi
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	1) Band structure of graphene and the Dirac Hamiltonian 1.1 Crystals in 2D 1.2 Tight binding of single layer graphene 1.3 Graphene field effect devices 1.4 Dirac equation 2) Dirac fermions and relativistic physics 2.1 Anomalous Quantum Hall Effect 2.2 Klein Tunneling 2.3 Effective mass and massless fermions 3) Optical properties 3.1 Phonons and Raman characterization 3.2 Absorption and visibility
Lern- und Qualifikationsziele	We will first derive and study the basic electronic properties of graphene, including the linear electronic band dispersion (Dirac cone) and the ambipolar field effect. Subsequently we will discuss the pioneering experiments (years 2004-2010) that demonstrated the analogy between electrons in graphene and relativistic particles. Finally, we will examine the most relevant linear optical properties (Raman and absorption) of single layer graphene, and how to use them for optical characterization.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben oder Vortrag (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	-
Empfohlene Literatur	Literatur wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF012</b> Materialinformatik	
Modulcode	PAFMF012
Modultitel (deutsch)	Materialinformatik
Modultitel (englisch)	Materials Informatics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. J. George
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 MSc. Physik Vertiefung Festkörperphysik/Materialwissenschaft: Wahlpflichtmodul 528 MSc. Quantum Science & Technology: Specialization
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übungen: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Objektorientiertes Programmieren und Datascience mit Python, Datenquellen und Zugang zu Materialdaten, Automatisierungen im Bereich der Datengenerierung (zum Beispiel mittels Dichtefunktionaltheorie oder maschinen-gelernter interatomarer Potentiale), typische Deskriptoren für Materialien (Repräsentation der Zusammensetzung von kristallinen oder amorphen Festkörpern oder der Struktur kristalliner Festkörper), allgemeine Prinzipien des maschinellen Lernens, Klassifikation und Regression, Supervised- und unsupervised Learning, Clustering, Kernelmethoden, Neuronale Netzwerke (verschiedene Architekturen), aktuelle Beispiele aus der Materialinformatik.
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden kennen die grundlegenden Problemstellungen in der Materialinformatik (Fokus auf anorganische Festkörpermaterialien). Sie kennen Grundbegriffe aus dem Bereich Data Science und des maschinellen Lernens und können Methoden aus diesen Bereichen auf Themen rund um Materialien und deren Daten anwenden.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung oder Hausarbeit und Präsentation
Zusätzliche Informationen zum Modul	Vorkenntnisse in Python werden erwartet
Empfohlene Literatur	Literatur wird zu Semesterbeginn bekanntgegeben
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMF015</b> Nukleare Festkörperphysik	
Modulcode	PAFMF015
Modultitel (deutsch)	Nukleare Festkörperphysik
Modultitel (englisch)	Nuclear Solid State Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Ronning
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mößbauereffekt;</li> <li>• Positronenvernichtung;</li> <li>• Magnetische Kernresonanz;</li> <li>• Myonen-Spin-Rotation;</li> <li>• Ionenstrahlanalytik</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse auf dem Gebiet der Festkörperphysik, die sie befähigen, entsprechende Problemstellungen zu verstehen und zu bearbeiten.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Vortrag (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	Schatz / Weidinger: „Nukleare Festkörperphysik“.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMF016</b> Nanomaterialien und Nanotechnologie	
Modulcode	PAFMF016
Modultitel (deutsch)	Nanomaterialien und Nanotechnologie
Modultitel (englisch)	Nanomaterials and Nanotechnology
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Ronning
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Theorie der Dimensionseffekte,</li> <li>• Elektronenquantisierung,</li> <li>• Einzelelektronen-Transistor,</li> <li>• Synthese von Nanomaterialien,</li> <li>• Charakterisierung von Nanomaterialien,</li> <li>• Materialsysteme: Kohlenstoffnanoröhren, Graphen, magnetische Nanomaterialien, Bionanomaterialien,</li> <li>• Anwendung und Technologie der Nanomaterialien.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse auf dem Gebiet der Festkörperphysik, die sie befähigen, entsprechende Problemstellungen zu verstehen und zu bearbeiten.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Vortrag (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFMF018</b> Quanteninformationstheorie	
Modulcode	PAFMF018
Modultitel (deutsch)	Quanteninformationstheorie
Modultitel (englisch)	Quantum Information Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Gärttner
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Quantenmechanik, Lineare Algebra
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul Spezialisierung "Quanten- und Gravitationstheorie" 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	

Inhalte	<p>Lecture of Drs. Eilenberger, Steinlechner</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic introduction to quantum optics;</li> <li>• Quantum light sources;</li> <li>• Encoding,</li> <li>• transmission and detection of information with quantum light;</li> <li>• Quantum communication and cryptography;</li> <li>• Quantum communication networks;</li> <li>• Outlook on Quantum metrology and Quantum imaging;</li> </ul> <p>Lecture of Dr. Sondenheimer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Open quantum systems, Density matrix formalism, Generalized measurements, Quantum channels</li> <li>• Superdense coding, quantum teleportation</li> <li>• Entanglement theory, Bell inequalities,</li> <li>• CHSH inequalities</li> <li>• Quantum circuits, universal gates</li> <li>• Quantum error correction</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The course will give a basic introduction into the usage of quantum states of light for the exchange of information. It will introduce contemporary methods for the generation of quantum light and schemes that leverage these states for the exchange of information, ranging from fundamental concepts and experiments to state of the art implementations for secure communication networks. The course will also give an outlook to aspects of Quantum metrology and imaging. After active participation in the course, the students will be familiar with the basic concepts and phenomena of quantum information exchange and some aspects related to the practical implementation thereof. They will be able to apply their knowledge in the assessment and setup of experiments and devices for applications of quantum information processing. Vermittlung grundlegender Kenntnisse zur Übertragung und Verarbeitung von Information mit Hilfe von Quantensystemen als Informationsträger. Informationstheoretische Beherrschung der Verschränktheit von Quantensystemen
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	-
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	<p>Written or oral examination (100%);</p> <p>The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.</p>
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	Literatur wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF019</b> Materialwissenschaft I	
Modulcode	PAFMF019
Modultitel (deutsch)	Materialwissenschaft I
Modultitel (englisch)	Introduction to Material Science for Physicists
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. K. D. Jandt
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Systematische Darstellung materialwissenschaftlicher Grundlagen.</li> <li>Atomare Struktur und Bindungsarten,</li> <li>Struktur von Metallen und Keramik und Polymeren,</li> <li>Störungen im Aufbau von Festkörpern,</li> <li>Diffusion,</li> <li>mechanische Eigenschaften von Materialien,</li> <li>Deformations- und Verstärkungsmechanismen, Versagen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Nach erfolgreichem Absolvieren des Moduls beherrscht der/die Studierende wichtige grundlegende Begriffe, Phänomene und Verfahren in der Materialwissenschaft bzw. kann diese nennen. Darüber hinaus entwickelt er/sie Fähigkeiten zum selbstständigen Lösen von Problemen und Aufgaben aus dem Gebiet der Materialwissenschaft
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>William D. Callister Jr, <i>Fundamentals of Materials Science and Engineering – An integrated approach</i>, 3rd Edition, John Wiley &amp; Sons, Inc. New York 2009</li> <li>Alternativ: Werkstoffe 1 &amp; 2. M. F. Ashby, D. R. H. Jones, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2006</li> </ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMF020</b> Oberflächenphysik	
Modulcode	PAFMF020
Modultitel (deutsch)	Oberflächenphysik
Modultitel (englisch)	Surface Science
Modul-Verantwortliche/r	Dr. R. Forker
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellung wohldefinierter Oberflächen</li> <li>• Geometrische Struktur von Oberflächen</li> <li>• Adsorption, Desorption, Diffusion</li> <li>• Beugungsmethoden</li> <li>• Elektronische Struktur von Oberflächen</li> <li>• Elektronenmikroskopie</li> <li>• Rastersondenmethoden</li> <li>• Elektronenspektroskopie</li> <li>• Optische Spektroskopie</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse der Oberflächenphysik der Festkörper. Vermittelt werden erweiterte Kenntnisse der vielfältigen Untersuchungsmethoden zur Oberflächenanalytik und ihren Anwendungen. Die Studierenden entwickeln die Fähigkeit zur selbständigen Einarbeitung in anspruchsvolle, methodenübergreifende Themen der aktuellen Forschung auf dem Gebiet Oberflächenphysik.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung/Vortrag (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	Fauster/Hammer/Heinz/Schneider: Oberflächenphysik, Oldenbourg Verlag, 2013
Unterrichtssprache	Englisch, Deutsch auf Anfrage

Modul <b>PAFMF021</b> Zweidimensionale Materialien	
Modulcode	PAFMF021
Modultitel (deutsch)	Zweidimensionale Materialien
Modultitel (englisch)	2D materials
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. Soavi
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graphene: electrical and optical properties. Applications in electronic and optoelectronic.</li> <li>• Semiconducting 2D materials: Coulomb screening and the concept of excitons. Optical spectroscopy of excitons. Optoelectronic applications.</li> <li>• Heterostructures: electron and exciton interactions in layered heterostructures</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mastering the basics and methods of two-dimensional materials</li> <li>• Ability to work independently on problems in the field of two-dimensional materials</li> </ul>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	<p>Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.</p>
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMF022</b> Materialwissenschaft II	
Modulcode	PAFMF022
Modultitel (deutsch)	Materialwissenschaft II
Modultitel (englisch)	Materials Science II
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. K. D. Jandt
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Es wird empfohlen, vorher die Veranstaltung PAFMF019 zu besuchen (nicht zwingend notwendig)
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung Festkörperphysik/Materialwissenschaft: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Seminar: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialversagen</li> <li>• Elektrische Eigenschaften von Materialien</li> <li>• Composites</li> <li>• Korrosion und Zersetzung von Materialien</li> <li>• Thermische Eigenschaften von Materialien</li> <li>• Magnetische Eigenschaften von Materialien</li> <li>• Optische Eigenschaften von Materialien</li> <li>• Biomaterialien</li> <li>• Nanomaterialien</li> <li>• Wirtschaftliche, Umwelt- und Sozialaspekte der Materialwissenschaft</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse und Fähigkeiten auf dem Gebiet der Materialwissenschaft, die sie befähigen, entsprechende Problemstellungen zu verstehen und lösungsorientiert zu bearbeiten.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Aufgabenstellungen im Seminar (Umfang wird zu Beginn des Seminars bekanntgegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung, erfolgreiche Teilnahme am Seminar. Prüfungsform wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Empfohlene Literatur	Wird zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFMF023</b> Vielteilchen-Störungstheorie	
Modulcode	PAFMF023
Modultitel (deutsch)	Vielteilchen-Störungstheorie
Modultitel (englisch)	Many-Body Perturbation Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Caterina Cocchi
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Quantenmechanik, theoretische Festkörperphysik
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 MSc. Physics Specialisation Solid-State Physics: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture (2 SWS) Seminar (2 SWS)
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantum mechanical formalism: perturbation theory, second quantization, pictures.</li> <li>Many-body systems of identical particles</li> <li>Single-particle Green's functions</li> <li>Two-particle Green's functions</li> <li>Feynman diagrams</li> <li>Wick's theorem</li> <li>Random-phase approximation</li> <li>GW approximation</li> <li>Bethe-Salpeter equation</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This module introduces graduate students to advanced quantum mechanical methods for many-body problems in condensed-matter physics. Participants will acquire a comprehensive understanding of fundamental concepts and key approximations describing electronic correlations and excitations in solids. Upon completion, they will be able to apply these principles and master the corresponding formalism implemented in standard computing packages for electronic structure theory.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	none
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Oral exam or home assignment + presentation

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• E. K. U. Gross, E. Runge, O. Heinonen, Many particle theory, Adam Hilger (1991)</li><li>• A. Fetter und J. D. Walecka, Quantum Theory of Many-Particle Systems, Dover (2002)</li><li>• R. D. Mattuck, A guide to Feynman Diagrams in the Many-body Problem, Dover (1976)</li></ul>
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMF098</b> Vertiefung Festkörperphysik I	
Modulcode	PAFMF098
Modultitel (deutsch)	Vertiefung Festkörperphysik I
Modultitel (englisch)	Advanced Solid State Physics I
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Ronning
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung/Seminar: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Lern- und Qualifikationsziele	<p>Vertiefte Kenntnisse auf den Gebieten Festkörperphysik und Materialwissenschaft</p> <p>Aktuell:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erzeugung und Analytik von Nanopartikeln im Labor;</li> <li>• Erzeugung von Partikel- und Clusterstrahlen;</li> <li>• Kondensation und Evolution kosmischer Nanopartikel und deren spektrale Eigenschaften, Photolumineszenz;</li> <li>• Astrochemie im interstellaren Medium und planetaren Umgebungen</li> <li>• Materialklassen: Kohlenstoffnanopartikel, Fullerene, Russpartikel, Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Silikate, metallhaltige Silikate, Eispartikel, komplexe molekulare Komponenten</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben oder Vortrag (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Vortrag (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMF099</b> Vertiefung Festkörperphysik II	
Modulcode	PAFMF099
Modultitel (deutsch)	Vertiefung Festkörperphysik II
Modultitel (englisch)	Advanced Solid State Physics II
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Ronning
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung/Seminar: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Systematische Erarbeitung von Spezialkenntnissen auf den Gebieten Festkörperphysik und Materialwissenschaft.
Lern- und Qualifikationsziele	Vertiefte Kenntnisse auf den Gebieten Festkörperphysik und Materialwissenschaft.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben oder Vortrag (Umfang wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Vortrag (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMM250</b> Metallische Werkstoffe	
Modulcode	PAFMM250
Modultitel (deutsch)	Metallische Werkstoffe
Modultitel (englisch)	Metallic materials
Modul-Verantwortliche/r	Dr. Stephanie Lippmann
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	177 M.Sc. Werkstoffwissenschaft: Wahlpflichtmodul 128 M.Sc. Physik Vertiefung Festkörperphysik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 3 SWS Übungen: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	150 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufbau von metallischen Werkstoffen mit Schwerpunkt auf Gefügen von technologisch relevante Legierungsklassen</li> <li>Mechanischen Eigenschaften und deren Beeinflussung durch die Prozesse wie Verformung, Erholung, Rekristallisation, Kornvergrößerung, Ausscheidungs- und Dispersionshärten, Texturbildung</li> <li>Diffusion in metallischen Werkstoffen anhand der Schlüsselexperimente von Fick, Kirkendall, Darken und deren Interpretation</li> <li>moderne Verfahren und metastabile Zustände</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden lernen das Eigenschaftsspektrum metallischer Werkstoffe kennen</li> <li>Die Studierenden erwerben das Verständnis wie Eigenschaften und Gefüge zusammenhängen</li> <li>Die Studierenden erwerben Wissen, das sie in die Lage versetzt diese Eigenschaften gezielt einzustellen</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• P. Haasen „Physikalische Metallkunde“ Springer 1995, DOI: 10.1007/978-3-642-87849-7</li><li>• G. Gottstein, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: Physikalische Grundlagen“, Springer 2013, DOI: 10.1007/978-3-642-36603-1</li><li>• E. Hornbogen, H. Warlimont, Aufbau und Eigenschaften von Metallen und Legierungen Springer</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFM0004</b> Laser Physics	
Modulcode	PAFM0004
Modultitel (deutsch)	Laser Physics
Modultitel (englisch)	Laser Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. J. Limpert (FSU), Prof. Dr. S. Nolte (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	None
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 Required elective Module M.Sc. Physics focus „Optics“ 628 Compulsory Module M.Sc. Photonics
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 4 h per week Exercise: 2 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to laser physics (stimulated emission, atomic rate equations, laser pumping and population inversion);</li> <li>• Optical beams and laser resonators;</li> <li>• Laser dynamics;</li> <li>• Q-switching;</li> <li>• Mode locking;</li> <li>• Wavelength tuning and single frequency operation;</li> <li>• Laser systems;</li> <li>• Selected industrial and scientific applications.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The students understand the fundamental equations and concepts of laser theory can explain the working principles of different laser types, including gas, ruby, and diode-pumped solid-state lasers are familiar with key laser applications and their underlying physical principles can analyze and compare laser systems in terms of design, performance, and application areas
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Siegman, Lasers;</li><li>• W. Koechner, Solid-State Laser Engineering;</li><li>• W. Demtröder, Laser Spectroscopy;</li><li>• D. Bäuerle, Laser Processing and Chemistry;</li><li>• H.-G. Rubahn, Laser Applications in Surface Science and Technology.</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0005</b> Optical Metrology and Sensing	
Modulcode	PAFM0005
Modultitel (deutsch)	Optical Metrology and Sensing
Modultitel (englisch)	Optical Metrology and Sensing
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Isabelle Staude (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	None
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 628 M.Sc. Photonics: compulsory module 128 MSc. Physics: required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Exercise: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic principles</li> <li>• Wave optical fundamentals</li> <li>• Sensors</li> <li>• Fringe projection, triangulation</li> <li>• Interferometry and wave front sensing</li> <li>• Holography</li> <li>• Speckle methods and OCT</li> <li>• Phase retrieval</li> <li>• Metrology of aspheres and freeform surfaces</li> <li>• Confocal methods</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>The students</p> <p>understand the basic principles and wave optical fundamentals of optical metrology are familiar with key sensor technologies and measurement techniques</p> <p>can apply interferometry, holography, and speckle methods for precise measurements understand phase retrieval and its role in optical metrology</p> <p>can analyze and compare metrology techniques for aspheres, freeform surfaces, and confocal methods</p>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
---	---------------------

Empfohlene Literatur
----------------------

Unterrichtssprache	Englisch
--------------------	----------

Modul <b>PAFM0006</b> Introduction to Optical Modeling	
Modulcode	PAFM0006
Modultitel (deutsch)	Introduction to Optical Modeling
Modultitel (englisch)	Introduction to Optical Modeling
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. F. Wyrowski (FSU), apl. Prof. Dr. U. W. Zeitner (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	None
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 628 M.Sc. Photonics: compulsory module 128 MSc. Physics specialisation „Optics“: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Exercise: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	Concepts of ray tracing; Modeling and design of lens systems; Image formation; Physical properties of lenses and lens materials in optical design; Image aberrations and methods to avoid them; Vectorial harmonic fields; Plane waves; Fourier transformation and spectrum of plane waves representation; Concepts of field tracing; Propagation techniques through homogeneous and isotropic media; Numerical properties of propagation techniques.
Lern- und Qualifikationsziele	The course enables students to solve problems related to the modeling and design of optical elements and systems. In the first part of the lecture we focus on ray-tracing techniques and its application through image formation. Then we combine the concepts with physical optics and obtain field tracing. It enables the propagation of vectorial harmonic fields through optical systems. In practical exercises the students will get an introduction to the use of commercial optics modeling and design software.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• H. Gross, Handbook of Optical Systems Vol.1: Fundamentals of Technical Optics, Wiley-VCH;</li> <li>• L. Mandel and E. Wolf, Optical Coherence and Quantum Optics;</li> <li>• L. Novotny and B. Hecht, Principles of Nano-Optics.</li> </ul>

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFM0100</b> Beschleunigerbasierte moderne Physik	
Modulcode	PAFM0100
Modultitel (deutsch)	Beschleunigerbasierte moderne Physik
Modultitel (englisch)	Accelerator-based Modern Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Stöhlker
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Fundamentals of atomic physics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“ und „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS, Übung: 1 SWS or Seminar: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Basic concepts of particle accelerators, application of accelerators in basic science and medicine, landmark experiments
Lern- und Qualifikationsziele	Students gain an overview of the various applications of particle accelerators, in particular for basic science and acquire the ability to solve related exercise problems and to prepare a presentation.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Course exercises to be submitted; further information on the kind and scope will be given at the beginning of each semester or seminar talk.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• J. Eichler,</li> <li>• Vorlesungs on Ion-Atom Collisions (Elsevier Science);</li> <li>• W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments (Springer)</li> </ul>
Unterrichtssprache	Englisch (Deutsch auf Anfrage)

Modul <b>PAFM0101</b> Active Photonic Devices	
Modulcode	PAFM0101
Modultitel (deutsch)	Active Photonic Devices
Modultitel (englisch)	Active Photonic Devices
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Schmidt
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 40 h 80 h
Inhalte	Electro-optical modulation; Acousto-optical devices; Magneto-optics and optical isolation; Integrated lasers; Non-Linear devices for light generation;
Lern- und Qualifikationsziele	Based on this course the students will acquire a comprehensive overview about active photonic devices such as switches or modulators. The course starts by an introduction to the most important parameters and physical principles. The Lecture will then focus onto real-world devices including the areas of electro-optics, waveguides, acousto-optics, magneto-optics and non-linear optics. During this lecture the fundamental principles as well as devices currently employed in photonics will be discussed to provide the students with the ability to solve related problems and to perform research in related fields.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• J. D. Jackson: Electrodynamics;</li> <li>• Yariv: Optical Electronics in Modern Communications;</li> <li>• Born/Wolf: Principles of Optics.</li> </ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0102</b> Analytical Instrumentations	
Modulcode	PAFM0102
Modultitel (deutsch)	Analytical Instrumentations
Modultitel (englisch)	Analytical Instrumentations
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Tünnermann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Atomic and molecular structure</li> <li>Basics of atomic spectroscopy techniques</li> <li>Molecular spectroscopy: absorption, emission, vibrational and spectroscopy and microspectroscopy, basics of magnetic resonance spectroscopy</li> <li>Hardware of spectrometers/ microscopes: light sources, detectors, optics, material point of view</li> <li>Current applications and relevance in material and life sciences</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	In this course, the student will acquire the knowledge and analytical methods to investigate the structure and composition of matter. Basic principles of atomic and molecular structure will be refreshed towards better understanding experimental analysis techniques such as spectrophotometry, ellipsometry, fluorescence, infrared, Raman, etc. spectroscopy or microscopy. The course will focus on technological aspects of the experimental setup in analytical instrumentations. Modern applications of analytical instrumentations in material and life sciences will be discussed. After successful completion, the student will know their capabilities and limitations.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Atkins: Physical Chemistry (partial)</li><li>• Lakowicz: Principles of fluorescence spectroscopy (partial)</li><li>• Selected research publications and technical notes</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0103</b> Applied Laser Technology I	
Modulcode	PAFM0103
Modultitel (deutsch)	Applied Laser Technology I
Modultitel (englisch)	Applied Laser Technology I
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Eggeling, Prof. Dr. R. Heintzmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	Overview over laser beam applications as a contactless and remote probe (macroscopic and microscopic, cw and ultrafast, dealing with spectroscopy, metrology, sensing, and multi-dimensional microscopy); Fundamental concepts of related physical and physico-chemical effects; Absorption and emission of light (selection rules); Ultrafast coherent excitation and relaxation (linear and non-linear optical processes); Light reflection and elastic/inelastic scattering
Lern- und Qualifikationsziele	The course covers the fundamentals and concepts of the selected laser applications. The students will acquire the knowledge to develop own solutions for challenges in laser applications
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.) Seminarvortrag
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser Spectroscopy, W. Demtröder, Springer</li> <li>• Molekulphysik und Quantenchemie, H. Haken u H. C. Wolf, Springer</li> <li>• Lasers in Chemistry, M. Lackner edit., Wiley-VCH 2008</li> </ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0104</b> Applied Laser Technology II	
Modulcode	PAFM0104
Modultitel (deutsch)	Applied Laser Technology II
Modultitel (englisch)	Applied Laser Technology II
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Eggeling, Prof. Dr. R. Heintzmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Applied Laser Technology using the laser as a tool (microscopic and macroscopic light-materials' interactions, materials' preparation and modifications.) with the exception of classical laser materials' processing (e.g. cutting, drilling, welding, soldering)</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	In various selected topics out of the broad field of laser applications, the students will acquire the knowledge to solve problems related to laser-material interactions (e.g. atom cooling and optical tweezer), laser induced processes in gases, liquids, and matrices (incl. laser isotope separation), materials' preparation and structuring by ablation, deposition and/or modification.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%) The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Empfohlene Literatur	R. Paschotta, Encyclopedia of Laser Physics and Technology, Wiley-VCH
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0106</b> Atomic Physics at High Field Strengths	
Modulcode	PAFM0106
Modultitel (deutsch)	Atomic Physics at High Field Strengths
Modultitel (englisch)	Atomic Physics at High Field Strengths
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Stöhlker
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in Atomphysik und Elektrodynamik
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“ und „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strong field effects on the atomic structure</li> <li>Relativistic and QED effects on the structure of heavy ions</li> <li>X-ray spectroscopy of high-Z ions</li> <li>Application in x-ray astronomy</li> <li>Penetration of charged particles through matter</li> <li>Particle dynamics in of atoms and ions in strong laser fields</li> <li>Relativistic ion-atom and ion-electron collisions</li> <li>Fundamental interaction processes</li> <li>Scattering, absorption and energy loss</li> <li>Detection methods</li> <li>Particle creation</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The Module provides insight into the basic techniques and concepts in physics related to extreme electromagnetic fields. Their relevance to nowadays applications will be discussed in addition. The Module also introduces the basic interaction processes of high-energy photon and particle beams with matter, including recent developments of high intensity radiation sources, such as free electron lasers and modern particle accelerators. Experimental methods and the related theoretical description will be reviewed in great detail.

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch (Deutsch auf Anfrage)

Modul <b>PAFM0107</b> Attosecond Laser Physics	
Modulcode	PAFM0107
Modultitel (deutsch)	Attosecond Laser Physics
Modultitel (englisch)	Attosecond Laser Physics
Modul-Verantwortliche/r	Dr. A. Pfeiffer
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Strong-Field Laser Physics PAFM0266 or equivalent
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 MSc. Physics specialisation „Optics“: required elective module 628 M.Sc. Photonics: Required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Coherent electron dynamics in atoms and molecules; Strong field effects and ionization; High harmonic generation and phase matching; Techniques for attosecond pulse generation; Transient absorption; Attosecond quantum optics with few-level quantum models.
Lern- und Qualifikationsziele	The course gives an introduction into the young research field of attosecond physics. Electron dynamics in atoms and molecules on the attosecond time scale (which is the natural timescale for bound electrons) will be discussed, along with modern techniques for attosecond pulse generation and characterization.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%) The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Empfohlene Literatur	Zenghu Chang, Fundamentals of Attosecond Optics.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0120</b> Biomedical Imaging - Ionizing Radiation	
Modulcode	PAFM0120
Modultitel (deutsch)	Biomedical Imaging - Ionizing Radiation
Modultitel (englisch)	Biomedical Imaging - Ionizing Radiation
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. J. R. Reichenbach
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	--
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	The module is part of the "Fundamentals" module in the Medical Photonics program.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	Introduction to biomedical and medical imaging systems; Physical principles behind the design of selected imaging systems; Technological aspects of each modality; Spatial and temporal resolution; Importance of each modality concerning physical, biological and clinical applications.
Lern- und Qualifikationsziele	The course introduces the physical principles, properties and technical concepts of imaging systems as they are applied today in medicine and physics. The focus is laid on the use and application of ionizing radiation, which has always been an important aspect of the application of physics to medicine. Applications and current developments will be presented. After having actively participated the students should demonstrate a critical understanding of the theoretical basis and technologies of these imaging systems and have acquired an appreciation of instrumentation and practical issues with different imaging systems. The course is independent of the course Biomedical Imaging – Non-Ionizing Radiation offered in the 2nd semester and does not require previous participation of that course.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Abgabe von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination. The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester
Zusätzliche Informationen zum Modul	Used media: electronic presentations, computer based demonstrations, blackboard
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oppelt, Imaging Systems for Medical Diagnostics: Fundamentals, Technical Solutions and Applications for Systems Applying Ionizing Radiation, Nuclear Magnetic Resonance and Ultrasound, Publicis, 2nd edition, 2006;</li><li>• P. Suetens, Fundamentals of Medical Imaging, Cambridge University Press; 2nd edition, 2009;</li><li>• W.R. Hendee, E.R. Ritenour, Medical Imaging Physics, Wiley-Liss, 4th edition, 2002.</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0121</b> Biomedical Imaging - Non Ionizing Radiation	
Modulcode	PAFM0121
Modultitel (deutsch)	Biomedical Imaging - Non Ionizing Radiation
Modultitel (englisch)	Biomedical Imaging - Non Ionizing Radiation
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. J. R. Reichenbach
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	Introduction to imaging systems; Physical principles behind the design of selected biomedical imaging systems, including magnetic resonance imaging, ultrasound imaging; Technological aspects of each modality; Importance of each modality concerning physical, biological and clinical applications.
Lern- und Qualifikationsziele	The course introduces physical principles, properties and technical concepts of imaging systems as they are applied today in medicine and physics. The focus is laid on the use and application of non-ionizing radiation, as utilized, e.g., with magnetic resonance imaging or ultrasound imaging. Applications and current developments will be presented. After active participation the students should demonstrate a critical understanding of the theoretical basis and technologies of these imaging systems and have acquired an appreciation of instrumentation and practical issues with different imaging systems. The course is independent of the course Biomedical Imaging – Ionizing Radiation offered in the 3rd semester.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Abgabe von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination. The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oppelt. Imaging Systems for Medical Diagnostics: Fundamentals, Technical Solutions and Applications for Systems Applying Ionizing Radiation, Nuclear Magnetic Resonance and Ultrasound, Publicis, 2nd edition, 2006;</li><li>• J.T. Bushberg et al., The Essential Physics of Medical Imaging, Lippincott Raven, 3rd edition, 2011;</li><li>• R.W. Brown, Y.-C. N. Cheng, E. M. Haacke, M.R. Thompson, R. Venkatesan, Magnetic Resonance Imaging: Physical Principles and Sequence Design, Wiley, 2nd edition, 2014.</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0122</b> Biophotonics	
Modulcode	PAFM0122
Modultitel (deutsch)	Biophotonics
Modultitel (englisch)	Biophotonics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Rainer Heintzmann (FSU), Prof. Dr. Ralf Ehricht (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h

Inhalte	<p>The Module provides a deep introduction into the multitude of possible linear and non-linear light biological matter interaction phenomena and thus in modern techniques and applications of frequency-, spatially-, and time-resolved bio-spectroscopy. The course presents a comprehensive overview over modern spectroscopic and optical imaging techniques inclusive specific theoretical methodologies to analyze the experimental spectroscopic data to resolve problems in life sciences. The biological part introduces to molecular and cellular properties of living organisms. It explains the basic structures and functions of prokaryotic and eukaryotic cells as well as the most important biochemical substance classes and biochemical pathways where they are involved. Furthermore, basics in microbiology, especially in antimicrobial resistant bacteria will be provided and combined with the introduction of diagnostic principles and selected infectious diseases. Examples for molecular and serological assay and test development and basic methods for diagnostics and epidemiology will be discussed. This sets the stage for biophotonic applications by showing several examples of how biophotonics can help to shed light on biologically and clinically relevant processes. The Module spans aspects of the scientific disciplines chemistry, physics, biology and medicine. The Exercises will be partly calculating examples and partly in the form a seminar talks of the students presenting current research publications. Intended learning outcomes: The aim of this course is to present modern methods in spectroscopy, microscopy, molecular biology, microbiology and imaging dedicated to biological samples. After the course the students will be able to choose and to apply appropriate spectroscopic methods and imaging technologies to resolve special biophotonics problems.</p>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>The aim of this course is to present modern methods in spectroscopy, microscopy and imaging dedicated to biological samples. After the course the students will be able to choose and to apply appropriate spectroscopic methods and imaging technologies to resolve special biophotonic problems.</p>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paras N. Prasad, Introduction to Biophotonics</li> <li>• Textbooks on laser spectroscopy, e.g. Demtröder; on quantum mechanics, e.g. Atkins and on optics, e.g. Zinth/Zinth</li> <li>• Jerome Mertz: Introduction to Optical Microscopy, Roberts &amp; Company Publishers, 2010</li> <li>• Selected chapters of Handbook of Biophotonics (Ed. J. Popp) WILEY</li> </ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0129</b> Computational Imaging	
Modulcode	PAFM0129
Modultitel (deutsch)	Computational Imaging
Modultitel (englisch)	Computational Imaging
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Rainer Heintzmann (FSU), Dr. Lars Lötgering (FSU)
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 MSc. Physics specialisation „Optics“: required elective module 628 M.Sc. Photonics: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Programming Lab: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	

Inhalte	<p>Review: Linear Algebra, Calculus, Python</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Optimization part 1: Continuous (Euler Lagrange) and Discrete (multivariate calculus)</li> <li>Programming lab: genetic algorithms + Fermat principle</li> <li>Optimization part 2: nonlinear optimization, regularization, Lagrange multipliers</li> <li>Optimization part 3: Convex techniques, <math>l_1</math> minimization</li> <li>Programming lab: single pixel camera</li> <li>Optimization part 4: Automatic differentiation</li> <li>Matrix representation of coherent optical systems Programming lab: keras toolbox, optical eigenmodes</li> <li>Multiple scattering: Born / Rytov series, beam propagation method</li> <li>Tomographic inversion</li> <li>Programming lab: Foldy-Lax scattering theory</li> <li>Phase retrieval part 1: coherent diffraction imaging (CDI)</li> <li>Phase retrieval part 2: ptychography</li> <li>Programming lab: hybrid input output, shrink wrap, ptychography</li> <li>Phase retrieval part 3: Fourier ptychography</li> <li>Image deconvolution: structured illumination microscopy, pupil engineering</li> <li>Programming lab: extended depth-of-field systems</li> <li>Imaging with spatially partially coherent light</li> <li>Parameter estimation: Fisher information and Cramer Rao lower bound</li> <li>Programming lab: Coded aperture imaging, resolution assessment, edge responses, modulation transfer function, Fourier ring correlation</li> <li>Neural networks part 1: Image classification</li> <li>Neural networks part 2: Image regression</li> <li>Programming lab: digit recognition, counting red blood cells</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Understanding the interplay between forward and inverse modeling in optical systems. Hands-on programming skills.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	30 min oral exam
Zusätzliche Informationen zum Modul	A list of Literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Empfohlene Literatur	A list of Literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0130</b> Computational Photonics	
Modulcode	PAFM0130
Modultitel (deutsch)	Computational Photonics
Modultitel (englisch)	Computational Photonics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Pertsch (FSU)
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Basic knowledge of a computer programming language and computational physics will be helpful.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	Introduction to the problem – Maxwell's equations and the wave equation; Free space propagation techniques; Beam propagation methods applied to problems in integrated optics; Mode expansion techniques applied to stratified media; Mode expansion techniques applied to spherical and cylindrical objects; Multiple multipole technique; Boundary integral method; Finite-Difference Time-Domain method; Finite Element Method; Computation of the dispersion relation (band structure) of periodic media; Mode expansion techniques applied to gratings; Other grating techniques; Contemporary problems in computational photonics.
Lern- und Qualifikationsziele	The course aims at an introduction to various techniques used for computer based optical simulation. Therefore, the student should learn how to solve Maxwell's equations in homogenous and inhomogeneous media rigorously as well as on different levels of approximation. The course concentrates predominantly on teaching numerical techniques that are useful in the field of micro- and nanooptics.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	Taflove and S.C. Hagness, Computational Electrodynamics
Empfohlene Literatur	Taflove and S.C. Hagness, Computational Electrodynamics

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFM0131</b> Fundamental Atomic and Nuclear Processes in Highly Ionized Matter	
Modulcode	PAFM0131
Modultitel (deutsch)	Fundamental Atomic and Nuclear Processes in Highly Ionized Matter
Modultitel (englisch)	Fundamental Atomic and Nuclear Processes in Highly Ionized Matter
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Stöhlker
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Grundkenntnisse Atom- und Kernphysik
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“ und „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS, Excercise: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>Vorlesung 1: "X-ray spectroscopy of hot plasmas"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• basic properties of atomic systems (level structure, transition rates, etc.)</li> <li>• atomic charge-exchange processes in plasmas, charge state distributions</li> <li>• creation of plasmas: facilities for stored and trapped ions</li> <li>• x-ray detectors and techniques for spectroscopy and polarimetry</li> <li>• x-ray diagnosis of plasmas in the laboratory and nature</li> </ul> <p>Vorlesung 2: "Nuclear matter and the formation of elements"</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Properties of nuclear matter</li> <li>• Stability of the atomic nucleus</li> <li>• Nuclear models and masses of atomic nuclei</li> <li>• Nuclear processes related to the creation of the elements</li> <li>• Nuclear radiation and radiation detectors</li> <li>• Experimental techniques</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The students will gain an overview of experiments addressing astrophysical topics, in particular concerning ionized matter and will be enabled to solve respective problems.

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	Die o.g. Vorlesungen werden wechselnd angeboten.
Unterrichtssprache	Englisch (Deutsch auf Anfrage)

Modul <b>PAFM0132</b> Optical system design fundamentals	
Modulcode	PAFM0132
Modultitel (deutsch)	Optical system design fundamentals
Modultitel (englisch)	Optical system design fundamentals
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. V. Blahnik
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic technical optics;</li> <li>• Paraxial optics;</li> <li>• Imaging systems;</li> <li>• Aberrations;</li> <li>• Performance evaluation of optical systems;</li> <li>• Correction of optical systems;</li> <li>• Optical system classification;</li> <li>• Special system considerations.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course covers the fundamental principles of classical optical system design, the performance assessment and the correction of aberrations. In combination of geometrical optics and physical theory the students will learn the basics to understand optical systems, which can be important for experimental work and enable them to solve related problems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche Prüfung (100%)
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0150</b> Erneuerbare Energien	
Modulcode	PAFM0150
Modultitel (deutsch)	Erneuerbare Energien
Modultitel (englisch)	Renewable Energies
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. G. Paulus
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 128 LAR Physik: Wahlpflichtmodul 128 LAG Physik: Wahlpflichtmodul 128 BSc. Physik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	Basics of energy supply in Germany; Potential of renewable energies; Principles of the energy balance of planets; Thermodynamics of the atmosphere; Physics of wind energy systems; Elements of solar power generation.
Lern- und Qualifikationsziele	After acquiring of knowledge on the fundamentals of renewable energies the students will develop the skills for the independent evaluation of different types of renewable energies.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Zusätzliche Informationen zum Modul	128 M.Sc. Physik: Spezialisierung „Optik“

Empfohlene Literatur	Gasch, Twele: Windkraftanlagen; De Vos: Thermodynamics of Solar Energy Conversion.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch auf Nachfrage

Modul <b>PAFM0151</b> Experimental Nonlinear Optics	
Modulcode	PAFM0151
Modultitel (deutsch)	Experimental Nonlinear Optics
Modultitel (englisch)	Experimental Nonlinear Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. G. Paulus (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	-
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 MSc. Physics specialisation „Optics“: required elective module 628 M.Sc. Photonics: required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propagation of light in crystals;</li> <li>• Properties of the non-linear susceptibility tensor;</li> <li>• Description of light propagation in non-linear media;</li> <li>• Parametric effects;</li> <li>• Second harmonic generation;</li> <li>• Phase-matching;</li> <li>• Propagation of ultrashort pulses;</li> <li>• High-harmonic generation;</li> <li>• Solitons</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	The students understand light propagation in nonlinear media and the role of the nonlinear susceptibility tensor can describe and analyze parametric effects and second harmonic generation grasp the concept of phase-matching and its importance in nonlinear optical processes are familiar with ultrashort pulse propagation and high-harmonic generation can explain soliton formation and its relevance in nonlinear optics
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	-
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Zusätzliche Informationen zum Modul	128 M.Sc. Physics: Required elective module (Specialization in „Optics“)
Empfohlene Literatur	
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0160</b> Fiber Optics	
Modulcode	PAFM0160
Modultitel (deutsch)	Fiber Optics
Modultitel (englisch)	Fiber Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Schmidt (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Properties of optical fibers;</li> <li>• Light propagation in optical fibers;</li> <li>• Technology and characterization techniques;</li> <li>• Special fiber types (photonic crystal fibers, hollow fibers, polarization maintaining fibers);</li> <li>• Fiber devices (e.g. fiber amplifiers and lasers);</li> <li>• Applications</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>Students</p> <p>understand the fundamental properties and light propagation in optical fibers</p> <p>are familiar with fiber fabrication, characterization techniques, and special fiber types</p> <p>can analyze fiber-based devices such as amplifiers and lasers</p> <p>understand key applications of optical fibers in communication, sensing, and laser technology</p>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snyder/Love, Optical Waveguide Theory;</li> <li>• Okamoto, Fundamentals of Optical Waveguides.</li> </ul>

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFM0165</b> Grundlagen der Laserphysik	
Modulcode	PAFM0165
Modultitel (deutsch)	Grundlagen der Laserphysik
Modultitel (englisch)	Fundamentals of Laser Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. J. Limpert, Dr. J. Rothhardt
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in Quantenmechanik sowie Atom- und Molekülphysik, bspw. Module PAFBT411, PAFBE311.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	180 h 60 h 120 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laserprinzip und wesentliche Lasertypen;</li> <li>• Pumpkonzepte und optische Verstärkung;</li> <li>• stabile und instabile Resonatoren;</li> <li>• Einfrequenzlaser;</li> <li>• Ultrakurzpuls laser;</li> <li>• wesentliche Lasertypen und ihre Merkmale.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phys. Grundlagen der Absorption und Emission;</li> <li>• Inversion/optische Verstärkung;</li> <li>• Konzepte zur Erzeugung kohärenten Lichts;</li> <li>• Laserprinzip;</li> <li>• Grundprinzipien der nichtlinearen Optik.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optik, Licht und Laser, D. Meschede;</li> <li>• Lasers, T. Siegman;</li> <li>• Laser, F. K. Kneubühl;</li> <li>• Laser – Grundlagen, Systeme, Anwendungen, J. und H.-J. Eichler, Springer;</li> <li>• Laser Spectroscopy, W. Demtröder.</li> </ul>

Unterrichtssprache

Deutsch

Modul <b>PAFM0170</b> High-Intensity/Relativistic Optics	
Modulcode	PAFM0170
Modultitel (deutsch)	High-Intensity/Relativistic Optics
Modultitel (englisch)	High-Intensity/Relativistic Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Kaluza (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High-intensity laser technology;</li> <li>• Laser plasma physics;</li> <li>• Laser accelerated particles and applications.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The students understand the principles of high-intensity laser technology and its key components are familiar with laser-plasma interactions and their physical foundations can analyze laser-driven particle acceleration and its applications in science and technology
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• W. L. Kruer, The Physics of Laser Plasma Interactions, Westview press (2003), Boulder Colorado;</li> <li>• P. Gibbon, Short Pulse Laser Interactions with Matter, Imperial College Press (2005), London;</li> <li>• F. F. Chen, Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion, Vol. 1: Plasma Physics, Springer (1984).</li> </ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0171</b> Milestones in Optics	
Modulcode	PAFM0171
Modultitel (deutsch)	Milestones in Optics
Modultitel (englisch)	Milestones in Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Spielmann, Dr. C. Forstner
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Seminar: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	30 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	The seminar covers the history of optics from the antiquity to the 20th century: Starting with Greek theories of vision and ending with quantum optics. A strong focus will be given on the development of concepts and experiments that influenced today's thinking about light and optics, such as wave particle dualism or the Abbe diffraction limit. An excursion to the Jena's Optical Museum is part of the seminar.
Lern- und Qualifikationsziele	In close collaboration with the supervisor, the student will work on an independent project. The students will develop the ability to evaluate critically the arguments and analytical methods of historians. They will learn developing their own interpretations based on critical assessments of primary source evidence and independent research.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Scientific Talk (100%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• David C. Lindberg, <i>Theories of Vision from al-Kindi to Kepler</i>. Chicago: University of Chicago Press, 1976.</li> <li>• Olivier Darrigol, <i>A History of Optics: From Greek Antiquity to the Nineteenth Century</i>. Oxford: Oxford University Press, 2012.</li> <li>• Helge Kragh, <i>Quantum Generations: A History of Physics of the Twentieth Century</i>. Princeton: Princeton University Press, 1999.</li> </ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFM0180</b> Image Processing	
Modulcode	PAFM0180
Modultitel (deutsch)	Image Processing
Modultitel (englisch)	Image Processing
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Joachim Denzler (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digital image fundamentals (Image Sensing and Acquisition, Image Sampling and Quantization)</li> <li>• Image Enhancement in the Spatial Domain (Basic Gray Level Transformations, Histogram Processing, Spatial Filtering)</li> <li>• Image Enhancement in the Frequency Domain (Introduction to the Fourier-Transform and the Frequency Domain, Frequency Domain Filtering, Homomorphic Filtering)</li> <li>• Image Restoration (Noise Models, Inverse Filtering, Geometric Distortion)</li> <li>• Color Image Processing Image Segmentation (Detection of Discontinuities, Edge Linking and Boundary Detection, Thresholding, Region-Based Segmentation)</li> <li>• Representation and Description Applications</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The course covers the fundamentals of digital image processing. Based on this the students should be able to identify standard problems in image processing to develop individual solutions for given problems and to implement image processing algorithms for use in the experimental fields of modern optics.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	Gonzalez, Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2001

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFM0181</b> Image Processing in Microscopy	
Modulcode	PAFM0181
Modultitel (deutsch)	Image Processing in Microscopy
Modultitel (englisch)	Image Processing in Microscopy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Rainer Heintzmann (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	All the image processing and simulations will be practiced in exercises. The student needs to be familiar with programming at a basic level and with basic concepts of image processing such as filtering and thresholding. The Image Processing lecture by Prof. Denzler in the second term forms a good basis for this course.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	We will show different methodologies to extract specific information such as for example the average speed of diffusing particles or the locations and areas of cells from the multidimensional image data. Also fitting quantitative models to extracted data will be treated. Simulation of far-field intensity distribution by using simple Fourier-space based approaches is treated with and without considering the vectorial nature of the oscillating electro-magnetic field.
Lern- und Qualifikationsziele	Current microscopy often acquires a large amount of image data from which the biological or clinical researcher often needs to answer very specific questions. A major topic is the reconstruction of the sample from the acquired, often complex, microscopy data. To solve such inverse problems, a good model of the data acquisition process is required, ranging from assumptions about the sample (e.g. a positive concentration of molecules per voxel), assumptions about the imaging process (e.g. the existence of an incoherent spatially invariant point spread function) to modeling the noise characteristics of the detection process (e.g. read noise and photon noise).

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
---	---------------------

Unterrichtssprache	Englisch
--------------------	----------

Modul <b>PAFM0182</b> Advanced Optical Design	
Modulcode	PAFM0182
Modultitel (deutsch)	Advanced Optical Design
Modultitel (englisch)	Advanced Optical Design
Modul-Verantwortliche/r	Prof. V. Blahnik
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Basic knowledge in geometrical and physical optics.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paraxial imaging;</li> <li>• Basics of optical systems;</li> <li>• Eikonal theory;</li> <li>• Geometrical aberrations, representations, expansion;</li> <li>• Detailed discussion of primary aberrations;</li> <li>• Sine condition, isoplanatism, afocal cases;</li> <li>• Wave aberrations and Zernike representation;</li> <li>• Miscellaneous aspects of aberration theory.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course covers the fundamental principles of classical optical imaging and aberration theory of optical systems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche Prüfung (100%)
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0183</b> Introduction to Nano optics	
Modulcode	PAFM0183
Modultitel (deutsch)	Introduction to Nano optics
Modultitel (englisch)	Introduction to Nano optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. I. Staude (FSU), Prof. Dr. T. Pertsch (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Fundamental knowledge on modern optics and condensed matter physics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surface-plasmon-polaritons;</li> <li>• Plasmonics;</li> <li>• Photonic crystals;</li> <li>• Fabrication and optical characterization of nanostructures;</li> <li>• Photonic nanomaterials / metamaterials / metasurfaces;</li> <li>• Optical nanoemitters;</li> <li>• Optical nanoantennas.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The course provides an introduction to the broad research field of nano optics. The students will learn about different concepts which are applied to control the emission, propagation, and absorption of light at subwavelength spatial dimensions. Furthermore, they will learn how nanostructures can be used to optically interact selectively with nanoscale matter, a capability not achievable with standard diffraction limited microscopy. After successful completion of the course the students should be capable of understanding present problems of the research field and should be able to solve basic problems using advanced literature.

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	L. Novotny and B. Hecht, Principles of Nano-Optics, Cambridge 2006; P. Prasad, Nanophotonics, Wiley 2004; J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, R. D. Meade, Photonic Crystals – Molding the Flow of Light, Princeton University Press (2008) list of selected journal publications given during the lecture.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0184</b> Integrated Optics	
Modulcode	PAFM0184
Modultitel (deutsch)	Integrated Optics
Modultitel (englisch)	Integrated Optics
Modul-Verantwortliche/r	Dr. M. Gräfe (FSU), Dr. V. Gili (FSU), Prof. Dr. T. Pertsch (FSU)
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physics focus „Optics“: Required elective module 628 M.Sc. Photonics: Required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture 2 SWS and exercise 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	The lecture will cover a significant part of integrated quantum photonics, which is one of the pillars of the current quantum technology development. In particular, the lecture will cover the following topics <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrated optics on a single photon level</li> <li>• Generation and manipulation of quantum states of light using integrated waveguides</li> <li>• Overview over integrated photonic platforms and fabrication of passive and active waveguide structures</li> <li>• Quantum walks in linear and non-linear waveguide lattices</li> <li>• Introduction to photonic quantum computation and simulation</li> <li>• Measurements using superconducting nanowire single photon detectors and transition edge sensors</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	<p>The course should provide the participating students with a profound knowledge on the state of the art of integrated optics used for the realization of quantum optical devices.</p> <p>After active participation in the course, the students will be familiar with the basic concepts and phenomena of integrated quantum photonics and will be able to develop own concepts for integrated quantum circuitry.</p> <p>The intended learning outcome is that the students are introduced to the basics on the field of integrated quantum optics and its applications. Therefore, course starts with an overview on the generation of non-classical states of light with special attention on integrated solutions. Afterwards several integrated photonic platforms will be discussed ranging from fabrication to performance and useability.</p> <p>Based on that the on-chip manipulation of non-classical states of light will be discussed. This starts with the very general concept of quantum walks and continues towards quantum simulation. It ends with an introductory to photonic quantum computing with a clear focus on practical implementation of quantum photonic gate structures.</p> <p>The course closes with the discussion on non-classical light detection in integrated photonics.</p>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0185</b> Innovation Methods in Photonics	
Modulcode	PAFM0185
Modultitel (deutsch)	Innovation Methods in Photonics
Modultitel (englisch)	Innovation Methods in Photonics
Modul-Verantwortliche/r	Dr. M. Gräfe (FSU), Dr. V. Gili (FSU), Prof. Dr. T. Pertsch (FSU)
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physics specialisation „Optics“: Required elective module 628 M.Sc. Photonics: Required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Exercise: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapid prototyping technologies in photonics</li> <li>• Innovation management and design thinking</li> <li>• Hands-on/practical examples of photonics prototyping</li> <li>• Entrepreneurial skills and business modelling</li> <li>• Basics of intellectual property rights</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>The students will learn how the results of their scientific research can be turned into relevant innovations as an important part of their future career. On the one hand, the course will enable students to understand and to drive innovation processes in photonics companies. On the other hand, students will develop an entrepreneurial skill set for the independent economical exploitation of scientific ideas.</p> <p>Therefore, the course introduces the basic knowledge on innovation management, entrepreneurship, and intellectual property rights. To practice their skills, the students will also conduct their own photonics innovation project during the semester by working hands-on in small teams in the photonics makerspace Lichtwerkstatt. During this practical part, they acquire and apply a thorough knowledge of photonic rapid prototyping technologies (e.g. 3d- scanning and printing, laser cutting, microcontrollers, ...) and the most important creativity methods and project management skills. To cover this range of topics, the course will be supported by guest lecturers from different sectors (academia, industry).</p>

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0187</b> Ionenfallen und Präzisionsexperimente	
Modulcode	PAFM0187
Modultitel (deutsch)	Ionenfallen und Präzisionsexperimente
Modultitel (englisch)	Ion traps and precision experiments
Modul-Verantwortliche/r	Jun.-Prof. Dr. P. Micke
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Grundlagen der Elektrodynamik, Quantenmechanik und Atomphysik
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 128 LA Gymnasium Physik: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology: Required elective module, subject area "specialization" 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Grundlagen der Ionenfallenphysik; Paul- und Penning-Fallen; Kühltechniken, insbesondere Methoden der Laserkühlung; Kohärente Manipulation von elektronischen Zuständen und Bewegungszuständen; Detektionstechniken; Anwendung von Ionenfallen in Präzisionsexperimenten: Optische Uhren, Quantenlogik-Spektroskopie, Ionenfallen als Basis für Quantencomputer, höchstauflösende Massenspektrometrie, Messungen von g-Faktoren und magnetischen Momenten
Lern- und Qualifikationsziele	Verständnis der Konzepte von Paul- und Penning-Fallen und der eingesetzten Techniken; Kenntnisse der behandelten Präzisionsexperimenten; Befähigung zur selbstständigen Vertiefung mithilfe aktueller wissenschaftlicher Literatur
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	50% der Punkte der Übungszettel erreicht; aktive Beteiligung in den Übungen durch Vorstellung der eigenen Lösungswege und Diskussion der Inhalte
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	Eine aktuelle Literaturliste wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Englisch



Modul <b>PAFMO200</b> Laser Driven Radiation Sources	
Modulcode	PAFMO200
Modultitel (deutsch)	Laser Driven Radiation Sources
Modultitel (englisch)	Laser Driven Radiation Sources
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Zepf
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Basic knowledge in plasma physics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser Plasma Interactions</li> <li>• Principles of Plasma Accelerators</li> <li>• Ultrafast Photon Sources</li> <li>• Scattering of photons from particle beams</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The course introduces the basic interaction processes of high-energy lasers with plasmas and particle beams with a particular emphasis on the extremely intense sources of proton, electron and photons with pulse durations in the femtosecond regime. Students will be enabled to solve related problems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	presentation and/or oral examination (100%)
Empfohlene Literatur	Gibbon, Short Pulse Laser Interactions with Matter
Unterrichtssprache	Englisch/Deutsch auf Nachfrage

Modul <b>PAFMO201</b> Laser Engineering	
Modulcode	PAFMO201
Modultitel (deutsch)	Laser Engineering
Modultitel (englisch)	Laser Engineering
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Kaluza
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Grundkenntnisse Laserphysik
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	Wahlpflichtmodul M.Sc. Physik in der Vertiefung „Optik“ Wahlpflichtmodul M.Sc. Photonics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• origin and dependencies of absorption and emission cross sections</li> <li>• Ytterbium based laser media</li> <li>• design of laser diode pump engines,</li> <li>• special topics in geometrical optics for amplifier design</li> <li>• basic calculations for layout of diode pumped high energy amplifiers</li> <li>• Ytterbium based laser materials and cryogenic cooling</li> <li>• limitations and special topics (laser induced damage threshold (LIDT), amplified spontaneous emission (ASE) ... )</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This is an application-oriented course focusing on topics needed for development and design of diode pumped high energy class laser systems. Besides general topics the main part of this lecture is dedicated to ytterbium-based laser systems. Besides basic knowledge like the spectral properties of laser materials and their significance for a laser system, further key topics like laser induced damage thresholds, laser diode pump engines, modeling of amplification and amplified spontaneous emission will be discussed. Students will be enabled to solve related problems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Koechner, W. (2013). Solid-state laser engineering (Vol. 1). Springer.</li><li>• Träger, F. (Ed.). (2012). Springer handbook of lasers and optics. Springer Science &amp; Business Media.</li><li>• Wood, R. M. (2003). Laser-induced damage of optical materials. CRC Press.</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0203</b> Lens Design I	
Modulcode	PAFM0203
Modultitel (deutsch)	Lens Design I
Modultitel (englisch)	Lens Design I
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. V. Blahnik
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction and user interface;</li> <li>• Description and properties of optical systems;</li> <li>• Geometrical and wave optical aberrations;</li> <li>• Optimization;</li> <li>• Imaging simulation;</li> <li>• Introduction into illumination systems;</li> <li>• Correction of simple systems;</li> <li>• More advanced handling and correction methods.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course gives an introduction in layout, performance analysis and optimization of optical systems with the software Zemax and enables the students to solve problems of optical system design.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche Prüfung (100%)
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0204</b> Lens Design II	
Modulcode	PAFM0204
Modultitel (deutsch)	Lens Design II
Modultitel (englisch)	Lens Design II
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. V. Blahnik
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Basic knowledge in aberration theory and optical design as acquired in the course on "Lens Design I".
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paraxial imaging and basic properties of optical systems;</li> <li>Initial systems and structural modifications;</li> <li>Chromatical correction;</li> <li>Aspheres and freeform surfaces;</li> <li>Optimization strategy and constraints;</li> <li>Special correction features and methods;</li> <li>Tolerancing and adjustment.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course covers the advanced principles of the development of optical systems and enables the students to solve advanced problems of optical system design.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche Prüfung (100%)
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0205</b> Light Microscopy	
Modulcode	PAFM0205
Modultitel (deutsch)	Light Microscopy
Modultitel (englisch)	Light Microscopy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Heintzmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<p>Starting from geometrical optics the imaging system will be described and optical aberrations will be discussed. Moving on to wave optics monochromatic waves will be taken as the basis for the description of coherent imaging. Combined with scattering theory in the 1st Born approximation a fundamental understanding of the possibilities and limitations in imaging is gained. The concept of the amplitude transfer function and McCutchen's 3-dimensional pupil function are introduced. On this basis various coherent imaging modes are discussed including holographic approaches and their limitations, and optical coherent tomography.</p> <p>The working principles of light-detectors are discussed and the requirements for appropriate sampling of images.</p> <p>Finally various modes of fluorescence microscopy and high-resolution microscopy will be covered.</p> <p>The exercises will be calculating examples, also involving hands-on computer based modeling using Matlab and other tools.</p>

Lern- und Qualifikationsziele	<p>The students</p> <p>understand imaging principles, including optical aberrations and coherent imaging</p> <p>can describe key concepts like the amplitude transfer function and 3D pupil function</p> <p>are familiar with holography, optical coherence tomography, and fluorescence microscopy</p> <p>understand light detectors and image sampling requirements</p> <p>can apply computational tools for modeling optical imaging systems</p>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0210</b> Machine Learning for Quantum Science	
Modulcode	PAFM0210
Modultitel (deutsch)	Machine Learning for Quantum Science
Modultitel (englisch)	Machine Learning for Quantum Science
Modul-Verantwortliche/r	Dr. X. Gu
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	None
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	528 M.Sc. Quantum Science and Technology: required elective module 128 M.Sc. Physics focus "Optics": required elective module 628 M.Sc. Photonics: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Tutorial: 2 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>Artificial intelligence has become as a powerful tool in quantum science, enabling researchers to simulate complex systems, optimize experimental procedures, and discover new ideas and experiments. This course introduces the principles and practice of applying artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) techniques to quantum physics, providing students with both theoretical foundations and hands-on computational skills. Topics include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic AI/ML techniques for physicists</li> <li>• Differentiable programming</li> <li>• Generative models and reinforcement learning</li> <li>• Quantum circuit optimization and design</li> <li>• Quantum parameter estimation and measurement strategies</li> <li>• Quantum experiments design and discovery</li> <li>• Interpretable AI in quantum physics</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	<p>This course introduces and deepens students' understanding of artificial intelligence techniques applied to quantum information science. By actively participating in this course, students will:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Develop both theoretical understanding and practical skills at the intersection of quantum science and artificial intelligence.</li><li>• Understand how artificial intelligence and machine learning can address challenges in quantum physics, such as quantum state estimation and experimental design.</li><li>• Gain hands-on experience implementing AI/ML methods in Python (using frameworks like PyTorch and JAX).</li><li>• Engage with current research literature to identify open questions and design AI systems for quantum tasks.</li></ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	none
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Oral examination (100%)
Empfohlene Literatur	<p>Students are encouraged to explore the following papers relevant to the course topics:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Krenn, M. et al., Computer-inspired quantum experiments. <i>Nat Rev Phys</i> 2, 649–661 (2020)</li><li>• Krenn, M. et al., Artificial intelligence and machine learning for quantum technologies, <i>Phys. Rev. A</i> 107, 010101 (2023)</li><li>• Dawid, A. et al., Modern applications of machine learning in quantum sciences, <i>arXiv:2204.04198</i> (2022)</li><li>• Acampora, G. et al., Quantum computing and artificial intelligence: status and perspectives, <i>arXiv:2505.23860</i> (2025)</li></ul> <p>A more detailed and regularly updated list of supplementary literature and resources will be provided at the beginning of the semester and throughout the course.</p>
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0220</b> Micro/Nanotechnology	
Modulcode	PAFM0220
Modultitel (deutsch)	Micro/Nanotechnology
Modultitel (englisch)	Micro/Nanotechnology
Modul-Verantwortliche/r	Apl. Prof. Uwe Zeitner
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• demands of micro- and nano-optics on fabrication technology</li> <li>• basic optical effects of micro- and nano-structures and their description</li> <li>• typical structure geometries in micro- and nano-optics</li> <li>• coating technologies</li> <li>• lithography (photo-, laser-, electron-beam) and its basic physical principles</li> <li>• sputtering and dry etching</li> <li>• special technologies (melting, reflow, ...)</li> <li>• applications and examples</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	In this course the student will learn about the fundamental fabrication technologies which are used in microoptics and nanooptics. This includes an overview of the physical principles of the different lithography techniques, thin film coating and etching technologies. After successful completion of the course the students should have a good overview and understanding of the common technologies used for the fabrication of optical micro- and nano-structures. They know their capabilities and limitations.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0221</b> Microscopy	
Modulcode	PAFM0221
Modultitel (deutsch)	Microscopy
Modultitel (englisch)	Microscopy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Heintzmann, Prof. Dr. C. Eggeling
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optical microscopy</li> <li>Circumventing the resolution limit</li> <li>Electron microscopy</li> <li>Atomic force microscopy</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This Module provides an introduction into the fundamentals of modern light and electron microscopy and enables the students to solve related problems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0222</b> Moderne Methoden der Spektroskopie	
Modulcode	PAFM0222
Modultitel (deutsch)	Moderne Methoden der Spektroskopie
Modultitel (englisch)	Modern Methods of Spectroscopy
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Spielmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Kenntnisse auf dem Gebiet der Optik, Atomphysik, Laserphysik.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen Licht-Materie-Wechselwirkung;</li> <li>• Experimentelle Hilfsmittel der Spektroskopie;</li> <li>• Laserspektroskopie;</li> <li>• Zeitaufgelöste Spektroskopie;</li> <li>• Laserkühlung;</li> <li>• THz- und Röntgenspektroskopie;</li> <li>• Photoelektronspektroskopie;</li> <li>• Anwendungen von Laserspektroskopie in Physik, Chemie, Medizin.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Understanding the methods of spectroscopy based on new developments in optics; impart knowledge about the design of a spectroscopic experiment; Ability to independently solve spectroscopic questions.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFM0230</b> Nano Engineering	
Modulcode	PAFM0230
Modultitel (deutsch)	Nano Engineering
Modultitel (englisch)	Nano Engineering
Modul-Verantwortliche/r	Dr. S. Höppener, Prof. Dr. U. S. Schubert
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area “specialization”
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Building with Molecules</li> <li>• Self-organization and self-assembled coatings</li> <li>• Chemically sensitive characterization methods</li> <li>• Nanomaterials for optical applications</li> <li>• Nanowires and nanoparticles</li> <li>• Nanomaterials in optoelectronics</li> <li>• Bottom-up synthesis strategies and nanolithography</li> <li>• Polymers and self-healing coatings</li> <li>• Molecular motors</li> <li>• Controlled polymerization techniques</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	A large diversity of nanomaterials can be efficiently produced by utilizing chemical synthesis strategies. The wide range of nanomaterials, i.e., nanoparticles, nanotubes, micelles, vesicles, nanostructured phase separated surface layers etc. opens on the one hand versatile possibilities to build functional systems, on the other hand also the large variety of techniques and processes to fabricate such systems is also difficult to overlook.  Traditionally the communication in the interdisciplinary field of nanotechnology is difficult, as expertise from different research areas is combined. This course aims on the creation of a common basic level for communication and knowledge of researchers of different research fields and to highlight interdisciplinary approaches which lead to new fabrication strategies. The course includes basic chemical synthesis strategies, molecular self-assembly processes, chemical surface structuring, nanofabrication and surface chemistry to create a pool of knowledge to be able to use molecular building blocks in future research projects.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0231</b> Nonlinear Dynamics in Optical Systems	
Modulcode	PAFM0231
Modultitel (deutsch)	Nonlinear Dynamics in Optical Systems
Modultitel (englisch)	Nonlinear Dynamics in Optical Systems
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. U. Peschel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Basic knowledge in electrodynamics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non-Linear dynamics in optical fibers and waveguides</li> <li>• Solution of non-linear partial differential equations</li> <li>• Solitons and collapse in optical systems</li> <li>• Super continuum generation</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Understanding the theoretical fundamentals of non-linear dynamics in optical systems the students are enabled to solve related problems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Modulnote (100%) Setzt sich zusammen aus einer Note für die Übungen (25%) und einer mündlichen Prüfung (75%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrawal, Govind P. Non-Linear optics</li> <li>• Moloney, Jerome V., Newell Alan C., Non-Linear Optics</li> <li>• Y.S.Kivshar and G.Agrawal, Optical Solitons: From Fibers to Photonic Crystals</li> </ul>
Unterrichtssprache	Deutsch oder Englisch auf Anfrage

Modul <b>PAFM0233</b> Neuromorphe Photonik - Plattformen und Anwendung	
Modulcode	PAFM0233
Modultitel (deutsch)	Neuromorphe Photonik - Plattformen und Anwendung
Modultitel (englisch)	Neuromorphic Photonics - Platforms & Applications
Modul-Verantwortliche/r	Dr. Elena Goi and Prof. Thomas Pertsch
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	None
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	attendance of "Fundamentals of Modern Optics" module or equivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 MSc. Physics focus „Optics“: required elective module 628 M.Sc. Photonics: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Tutorial: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<p>The course will cover the following topics:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Notions of brain physiology.</li> <li>• Introduction to AI, machine learning, neuromorphic computing and analog computing.</li> <li>• Comprehensive overview of neuromorphic photonics field background and historical development.</li> <li>• Review of the recent developments in photonic neuromorphic models, photonic platforms and accelerators for neuromorphic computing.</li> <li>• Discuss fields and applications that can leverage on these new platforms.</li> <li>• Analyze the current challenges faced in advancing the field and the emerging directions in neuromorphic photonic and AI applied to photonic problems, such as AI photonic chips, quantum neural networks, 3D optical neural networks etc..</li> <li>• The tutorials will focus on design and training of diffractive neural networks and photonic integrated neural network.</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fundamentals of neurological structures and neuromorphic models in machine learning and deep learning.</li><li>• Knowledge of the historical and most recent developments of the neuromorphic photonics field.</li><li>• Understanding of the applications of neuromorphic photonic technologies and the emerging directions in the field.</li><li>• Practical implementation of diffractive neural network design and training.</li><li>• Practical implementation of integrated photonic neural networks with cascades of Mach-Zehnder interferometers.</li><li>• Capacity to analyze scientific articles, expand understanding through contemporary research, and effectively present project work.</li></ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	none
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Project team report (50%), oral examination (50%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Neuromorphic Photonic Devices and Applications, Edited by Min Gu et al., 2024, SPIE – Elsevier</li><li>• Neuromorphic Photonics, Edited by P. R. Prucnal and B. J. Shastri, 2017, CRC Press</li><li>• Modern Optics: Edition 2. B. D. Guenther, Oct 2015, OUP Oxford</li></ul> <p>The suggested key literature list will be provided at the beginning of each lecture.</p>
Unterrichtssprache	English

<b>Modul PAFMO240 Optical Engineering</b>	
Modulcode	PAFM0240
Modultitel (deutsch)	Optical Engineering
Modultitel (englisch)	Optical Engineering
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Franke
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	30 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	

Modul <b>PAFM0242</b> Optics for Spectroscopists: Optical Waves in Solids	
Modulcode	PAFM0242
Modultitel (deutsch)	Optics for Spectroscopists: Optical Waves in Solids
Modultitel (englisch)	Optics for Spectroscopists: Optical Waves in Solids
Modul-Verantwortliche/r	Dr. habil. T. Mayerhöfer
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 30 h 90 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reflection and Refraction at anisotropic interfaces (Yeh's formalism, Berreman formalism, special cases, Euler orientation representations, example spectra etc.)</li> <li>Dispersion relations in isotropic and anisotropic crystals (Lorentz-model, coupled oscillator model, semi-empirical 4-Parameter model, inverse dielectric function modelling etc.)</li> <li>Dispersion analysis of crystals and layered systems down to triclinic symmetry and, ultimately, without prior knowledge of orientation;</li> <li>consequences for randomly-oriented or partly-oriented systems.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The students will acquire an understanding how the optical properties of anisotropic materials are connected with the material properties and how they depend on frequency. The final goal is to be able to quantitatively understand and analyze spectral patterns of crystals and layers of arbitrary symmetry and orientation.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optical Waves in Layered Media, Pochi Yeh, Wiley, 2005</li> <li>Absorption and Scattering of Light by Small Particles Craig F. Bohren, Donald R. Huffman, 1998</li> <li>The Infrared spectra of minerals, Victor Colin Farmer, Mineralogical Society, 1974</li> </ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0250</b> Particles in Strong Electromagnetic Fields	
Modulcode	PAFM0250
Modultitel (deutsch)	Particles in Strong Electromagnetic Fields
Modultitel (englisch)	Particles in Strong Electromagnetic Fields
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Zepf
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Fundamental knowledge on quantum mechanics und special relativity
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrons in constant fields</li> <li>• Electrons in electromagnetic pulses</li> <li>• Radiation produced by particles in extreme motion</li> <li>• Radiation reaction</li> <li>• QED effects in strong laser fields</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course is devoted to the dynamics of charged particles in electromagnetic fields. Starting with motion of electrons in constant magnetic and electric fields, the course continues with the electron motion in electromagnetic pulses (i.e. laser pulses) of high strength (i.e. when laser pressure becomes dominant). Radiation produced by electrons in extreme motion will be calculated for several most important cases: synchrotron radiation, Thomson scattering, undulator radiation. Effects of radiation reaction on electron motion will be discussed. The last part of the course will briefly discuss the QED effects in strong laser fields: stochasticity in radiation reaction, pair production by focused laser pulses and QED cascades. Analytical framework will be complemented with the help of numerical calculations.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Presentation or oral Exam (100%)

Empfohlene Literatur	A list of Literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0253</b> Physics of Free-Electron Laser	
Modulcode	PAFM0253
Modultitel (deutsch)	Physics of Free-Electron Laser
Modultitel (englisch)	Physics of Free-Electron Laser
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. G. Paulus
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• physical foundations of X-ray lasers</li> <li>• undulators</li> <li>• FEL differential equation</li> <li>• Instrumentation</li> <li>• selected applications</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>The student understands the physical foundations, instrumentation, and selected applications of FELs.</p> <p>Acquisition of the competence to judge the applicability and significance of FELs to address problems in X-ray physics.</p>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	Schmüser et al.: Ultra-violet and Soft X-ray Free-Electron Lasers
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0254</b> Physics of Ultrafast Optical Discharge and Filamentation	
Modulcode	PAFM0254
Modultitel (deutsch)	Physics of Ultrafast Optical Discharge and Filamentation
Modultitel (englisch)	Physics of Ultrafast Optical Discharge and Filamentation
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Spielmann, Dr. D. Kartashov
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>physics of photoionization</li> <li>optical breakdown</li> <li>basics of plasma kinetics</li> <li>LIBS Laser induced breakdown spectroscopy</li> <li>physics of filamentation</li> <li>applications: LIDAR, lightning discharge, supercontinuum generation</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	In a selected number of topics out of the broad field of high power laser matter interactions the students should acquire knowledge of ionization, plasma kinetics, filamentation and applications in spectroscopy metrology and atmospheric science.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0255</b> Plasma Physics	
Modulcode	PAFM0255
Modultitel (deutsch)	Plasma Physics
Modultitel (englisch)	Plasma Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Kaluza
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Fundamental knowledge on laser physics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundamentals of plasma physics;</li> <li>• Single particle and fluid description of plasmas;</li> <li>• Waves in plasmas;</li> <li>• Interaction of electromagnetic radiation with plasmas;</li> <li>• Plasma instabilities;</li> <li>• Non-linear effects (shock waves, parametric instabilities, ponderomotive effects, ...).</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course offers an introduction to the fundamental effects and processes relevant for the physics of ionized matter. After actively participating in this course, the students will be familiar with the fundamental physical concepts of plasma physics, especially concerning astrophysical phenomena but also with questions concerning the energy production based on nuclear fusion in magnetically or inertially confined plasmas.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• F. Chen: <i>Plasma Physics and Controlled Fusion</i>, Plenum Publishing Corporation, New York (1984);</li><li>• J. A. Bittencourt: <i>Fundamentals of Plasma Physics</i>, Springer, New York (2004);</li><li>• U. Schumacher: <i>Fusionsforschung</i>, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1993).</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0256</b> Photovoltaik	
Modulcode	PAFM0256
Modultitel (deutsch)	Photovoltaik
Modultitel (englisch)	Physics of Photovoltaics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. G. Paulus
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“ und „Festkörperphysik/ Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertinent elements of thermodynamics and statistical mechanics (diffusion, Boltzmann factor, free energy)</li> <li>• Fundamental concepts of solid state physics</li> <li>• Semiconductors and pn-junction</li> <li>• Diode equation</li> <li>• Shockley-Queisser limit</li> <li>• Design criteria for solar cells</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profound understanding of the physics underlying the performance of solar cells</li> <li>• Development of an understanding of the role of photovoltaics for covering the energy demand of modern societies.</li> <li>• Capability to solve complex problems pertinent to solar cells</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0260</b> Quantum Optics	
Modulcode	PAFM0260
Modultitel (deutsch)	Quantum Optics
Modultitel (englisch)	Quantum Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Pertsch, PD Dr. F. Setzpfandt
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Fundamental knowledge on quantum theory and theoretical optics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic introduction to quantum mechanics;</li> <li>• Quantization of the free electromagnetic field;</li> <li>• Non-classical states of light and their statistics;</li> <li>• Experiments in quantum optics;</li> <li>• Semi-classical and fully quantized light-matter interaction;</li> <li>• Non-Linear optics.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The course will give a basic introduction into the theoretical description of quantized light and quantized light-matter interaction. The derived formalism is then used to examine the properties of quantized light and to understand a number of peculiar quantum optical effects. After active participation in the course, the students will be familiar with the basic concepts and phenomena of quantum optics and will be able to apply the derived formalism to other problems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam

Empfohlene Literatur	Grynberg / Aspect / Fabre "Introduction to Quantum Optics"; Garrison / Chiao "Quantum Optics"; Fox "Quantum Optics – An Introduction"; Loudon "The Quantum Theory of Light"; Bachor / Ralph "A Guide to Experiments in Quantum Optics".
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0261</b> Quantum Computing	
Modulcode	PAFM0261
Modultitel (deutsch)	Quantum Computing
Modultitel (englisch)	Quantum Computing
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. F. Steinlechner, Dr. F. Eilenberger, Prof. Dr. T. Pertsch
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physics focus „specialisation“: Required elective module 628 M.Sc. Photonics: Required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area “specialization”
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Exercise: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic introduction to algorithms and computing</li> <li>• The Qubit and entanglement thereof</li> <li>• Basics of quantum algorithms</li> <li>• Advanced quantum algorithms</li> <li>• Implementation of QuBits and quantum computers</li> <li>• Hands-on circuits</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>After active participation in the course, the students will be familiar with the basic concepts of quantum computation and the implementation of quantum algorithms. They will be able to apply their knowledge in the assessment and creation of quantum algorithms and the development of quantum information systems.</p> <p>The intended learning outcome is to introduce the students to the basic usage of quantum bits for information processing. To provide further insight, the course will expand this concept on multipartite systems and introduce the concept of entanglement.</p> <p>In a further step we shall see how individual quantum operations tie together to create algorithms. Important algorithms, such as the quantum Fourier transformation, the algorithms of Shor and Grover will be discussed. To relate the abstract knowledge on quantum algorithms to practical applications, real-world implementations of quantum computers will be discussed.</p>

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0262</b> Quantum Communicaton	
Modulcode	PAFM0262
Modultitel (deutsch)	Quantum Communicaton
Modultitel (englisch)	Quantum Communicaton
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. F. Steinlechner, Dr. F. Eilenberger, Prof. Dr. A. Tünnermann
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physics focus „Optics“: Required elective module 628 M.Sc. Photonics: Required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Exercise: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basic introduction to quantum optics;</li> <li>• Quantum light sources;</li> <li>• Encoding, transmission and detection of information with quantum light;</li> <li>• Quantum communication and cryptography;</li> <li>• Quantum communication networks;</li> <li>• Outlook on Quantum metrology and Quantum imaging;</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>Goals: The course will give a basic introduction into the usage of quantum states of light for the exchange of generation of quantum light and schemes that leverage these states for the exchange of information, ranging from fundamental concepts and experiments to state of the art implementations for secure communication networks. The course will also give an outlook to aspects of Quantum metrology and imaging.</p> <p>After active participation in the course, the students will be familiar with the basic concepts and phenomena of quantum information exchange and some aspects related to the practical implementation thereof. They will be able to apply their knowledge in the assessment and setup of experiments and devices for applications of quantum information processing.</p>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%) The form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Empfohlene Literatur	
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0263</b> Quantum Imaging and Sensing	
Modulcode	PAFM0263
Modultitel (deutsch)	Quantum Imaging and Sensing
Modultitel (englisch)	Quantum Imaging and Sensing
Modul-Verantwortliche/r	Dr. M. Gräfe (FSU), Dr. F. Setzpfandt (FSU), Prof. Dr. A. Tünnermann (FSU)
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physics specialisation „Optics“: required elective module 628 M.Sc. Photonics: required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Exercise: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basic introduction to relevant concepts of quantum optics</li> <li>Generation of photon pairs</li> <li>Fundamentals of two-photon interference</li> <li>Applications of two-photon interference</li> <li>Optical quantum metrology</li> <li>Ghost Imaging</li> <li>Quantum microscopy</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<p>Goals: The course will give a basic introduction into the usage of quantum light, in particular photon pairs, for imaging and sensing. To this end, many basic concepts and applications will be introduced and discussed. Furthermore, students will learn how to mathematically describe quantum sensing schemes in order to understand and predict their properties.</p> <p>After active participation in the course, the students will be familiar with the basic concepts and phenomena of quantum imaging and sensing and will be able to apply the derived formalism to similar problems.</p>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	90 min written exam
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0265</b> Semiconductor Nanomaterials	
Modulcode	PAFM0265
Modultitel (deutsch)	Semiconductor Nanomaterials
Modultitel (englisch)	Semiconductor Nanomaterials
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. I. Staude
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Fundamental knowledge on modern optics and condensed matter physics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 MSc. Physics specialisation „Optics“: required elective module 628 M.Sc. Photonics: required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Exercise: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	The course will cover the following topics: <ul style="list-style-type: none"><li>• Review of fundamentals of semiconductors</li><li>• Optical and optoelectronic properties of semiconductors</li><li>• Effects of quantum confinement</li><li>• Photonic effects in semiconductor nanomaterials</li><li>• Physical implementations of semiconductor nanomaterials, including epitaxial structures, semiconductor quantum dots and quantum wires</li><li>• Advanced topics of current research, including 2D semiconductors and hybrid nanosystems</li></ul>

Lern- und Qualifikationsziele	This course aims to convey a fundamental understanding of the physics governing the optical and optoelectronic properties of semiconductor nanomaterials. First, the fundamental optical and optoelectronic properties of bulk semiconductors are reviewed, deepening and extending previously obtained knowledge in condensed matter physics. The students will then learn about the effects of quantum confinement in semiconductor systems in one, two or three spatial dimensions, as well as about photonic effects in nanostructured semiconductors. Finally, several relevant examples of semiconductor nanomaterial systems and their applications in photonics are discussed in detail. After successful completion of the course, the students should be capable of understanding present research directions and of solving basic problems within this field of research.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written examination at the end of the semester and oral presentation on a current research topic
Empfohlene Literatur	P. Y. Yu and M. Cardona, Fundamentals of Semiconductors, Springer 2010 C. F. Klingshirn, Semiconductor Optics, Springer 1995 M. Fox, Quantum Optics – An Introduction, Oxford University Press 2006
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0266</b> Strong-Field Laser Physics	
Modulcode	PAFM0266
Modultitel (deutsch)	Strong-Field Laser Physics
Modultitel (englisch)	Strong-Field Laser Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. G. G. Paulus
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>charakteristische Größen in der Starkfeld-Laserphysik</li> <li>charakteristische Effekte</li> <li>theoretische Beschreibung der Elektronendynamik</li> <li>die Rückstreuung als fundamentaler Prozess in der Starkfeld- und Attosekunden-Laserphysik</li> <li>Erzeugung von Attosekunden-Pulsen</li> <li>Messung von Attosekunden-Pulsen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung von Kenntnissen zu den Grundlagen der Starkfeld-Laserphysik und der darauf aufbauenden Attosekunden-Laserphysik.</li> <li>Entwicklung von Fähigkeiten zur selbständigen Behandlung von Fragestellungen dieser Felder.</li> </ul>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	Review-Artikel Z. Chang: Fundamentals of Attosecond Optics
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0267</b> Structured Light and Wavefront Shaping	
Modulcode	PAFM0267
Modultitel (deutsch)	Structured Light and Wavefront Shaping
Modultitel (englisch)	Structured Light and Wavefront Shaping
Modul-Verantwortliche/r	Prof. T. Cizmár
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	none
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 MSc. Physics focus „Optics“: required elective module 628 M.Sc. Photonics: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 h per week Tutorial: 1 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Light can be structured to carry complex patterns in intensity, phase, polarization, time, and even frequency. The ability to "sculpt" light is transforming science and technology, enabling applications from high-resolution microscopy to quantum communication. Devices, such as Spatial Light Modulators and Digital Micromirror Devices, now enable dynamic beam shaping into exotic optical structures. Further, they offer ways to beat optical aberrations of real-life optical systems as well as the scrambling of light by optically complex media, such as diffusers and biological tissues. The prospect can make use of intriguing properties of light such as the orbital angular momentum, opening new horizons in microscopy, optical tweezers, quantum information, and high-capacity data links. Further, a primitive multimode optical fibre can, with the technology, be turned into hair-thin endoscope exploring previously inaccessible locations within the living brain.
Lern- und Qualifikationsziele	Students will acquire the competence to independently generate, control, and apply structured light in practical contexts. By combining theoretical foundations with live demonstrations and hands-on experiments, they will develop the ability to purposefully use these technologies in research and industry, as well as to critically assess their potential.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	none
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Presentation (100%)

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Rubinsztein-Dunlop, Halina, et al. "Roadmap on structured light." <i>Journal of Optics</i> 19.1 (2016): 013001.</li><li>• Andrews, David L. <i>Structured light and its applications: An introduction to phase-structured beams and nanoscale optical forces</i>. Academic press, 2011.</li><li>• Cao, Hui, et al. "Controlling light propagation in multimode fibers for imaging, spectroscopy, and beyond." <i>Advances in Optics and Photonics</i> 15.2 (2023): 524-612.</li></ul>
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFM0270</b> Theory of Nonlinear Optics	
Modulcode	PAFM0270
Modultitel (deutsch)	Theory of Nonlinear Optics
Modultitel (englisch)	Theory of Nonlinear Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. U. Peschel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Types and symmetries of non-linear polarization;</li> <li>• Non-Linear optics in waveguides;</li> <li>• Solutions of non-linear evolution equations;</li> <li>• Temporal and spatial solitons;</li> <li>• Super continuum generation.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The course provides the theoretical background of non-linear optics and quantum optics.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	<p>- Written examination (100 %). <p>- The final grade will be determined by the exercise performance (25%) and an oral exam (75%)<p><span id="page4029R_mcid68" class="markedContent"><span dir="ltr" style="left: calc(var(--scale-factor)*238.77px); top: calc(var(--scale-factor)*621.21px); font-size: calc(var(--scale-factor)*10.00px); font-family: monospace; transform: scaleX(0.745847);"> </span></span>
Zusätzliche Informationen zum Modul	
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrawal, Govind P: Contemporary non-linear optics;</li> <li>• Moloney, Jerome V., Newell Alan C.: Non-Linear Optics ;</li> <li>• Sutherland, Richard Lee: Handbook of non-linear optics.</li> </ul>
Unterrichtssprache	Englisch



Modul <b>PAFM0271</b> Thin Film Optics	
Modulcode	PAFM0271
Modultitel (deutsch)	Thin Film Optics
Modultitel (englisch)	Thin Film Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Tünnermann (FSU), Dr. O. Stenzel (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	-
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basic dispersion models in Thin Film Optics</li> <li>Optical properties of material mixtures</li> <li>Interfaces: Fresnels equations</li> <li>Multiple internal reflections in layered systems</li> <li>Optical spectra of single thin films</li> <li>Wave propagation in stratified media</li> <li>Matrix formalism</li> <li>Multilayer systems: Quarterwave-stacks and derived systems</li> <li>Coatings for ultrashort light pulses</li> <li>Remarks on coating design</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course is of use for anyone who needs to learn how optical coatings are used to tailor the optical properties of surfaces. After an introduction about the theoretical fundamentals of optical coatings the student should learn to calculate the optical properties of uncoated and coated surfaces. Based on this, typical design concepts and applications will be presented.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche Prüfung (100%)

Zusätzliche Informationen zum Modul	128 M.Sc. Physics: Required elective module (Specialization in „Optics“) If requested by the participants and agreed on with the responsible teacher, this module can be offered on-site and/or online (hybrid).
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Born/Wolf: Introduction to optics;</li><li>• H. A. Macleod, Thin Film Optical Filters, Adam Hilger Ltd. 2001;</li><li>• R. Willey, Practical Design and Productions of Optical Thin Films, Marcel Dekker Inc. 2003;</li><li>• N. Kaiser, H. K. Pulker (Eds.), Optical Interference Coatings, Springer Series in Optical Sciences, Vol. 88, 2003;</li><li>• O. Stenzel, The Physics of Thin Film Optical Spectra. An Introduction, Springer Series in Surface Sciences, Vol. 44, 2005.</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMO280</b> Ultrafast Optics	
Modulcode	PAFMO280
Modultitel (deutsch)	Ultrafast Optics
Modultitel (englisch)	Ultrafast Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. S. Nolte
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Basic knowledge in laser physics.
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to ultrafast optics;</li> <li>• Fundamentals;</li> <li>• Ultrashort pulse generation;</li> <li>• Amplification of ultrashort pulses;</li> <li>• Measurement of ultrashort pulses;</li> <li>• Applications;</li> <li>• Generation of attosecond pulses.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	The aim of this course is to provide a detailed understanding of ultrashort laser pulses, their mathematical description as well as their application. The students will learn how to generate, characterize and use ultrashort laser pulses. Special topics will be covered during the seminars.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Vortrag
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.

Zusätzliche Informationen zum Modul	128 M.Sc. Physics: Required elective module (Specialization in „Optics“) If requested by the participants and agreed on with the responsible teacher, this module can be offered on-site and/or online (hybrid).
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Weiner, Ultrafast Optics;</li><li>• Diels/Rudolph, Ultrashort Laser Pulse Phenomena;</li><li>• Rulliere, Femtosecond laser pulses;</li><li>• W. Koechner, Solid-state Laser engineering;</li><li>• A. Siegman, Lasers.</li></ul>
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0281</b> Ultrafast Fibre Laser: Technology and Applications	
Modulcode	PAFM0281
Modultitel (deutsch)	Ultrafast Fibre Laser: Technology and Applications
Modultitel (englisch)	Ultrafast Fibre Laser: Technology and Applications
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. Markus Schmidt (FSU), Dr. Maria Chernysheva (FSU)
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Fiber Optics and Ultrafast Optics
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 MSc. Physics specialisation „Optics“: required elective module 628 MSc Photonics: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 2 SWS Exercises: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>The course will cover the following topics:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Review of fundamentals of ultrafast fibre lasers (mode-locking and Q-switching)</li> <li>• Engineering of fibre laser cavities</li> <li>• Ultrashort pulse characterization (autocorrelation, FROG, dispersive Fourier transformation, etc.)</li> <li>• Extreme phenomena, exploration of new wavelength ranges and other latest technology advancements in ultrafast fibrelaser development</li> <li>• Detailed overview of the ultrafast laser applications in industry, sensing, and medicine (diagnostics and treatment)</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	<p>The aim of the course is to deliver a comprehensive understanding on applied ultrafast laser technology, provide a comparison of solid-state, semiconductor and fibre systems with the focus on the latter, and introduce their modern industrial applications and various research areas.</p> <p>The course, first, will shortly review the basics of fibre optics, rare-earth ion spectroscopy, materials for saturable absorbers and fast modulation techniques, and a variety of operational regimes. The first part of the course will be summarized in pathways towards expected further advancements in the field, covering new research trends, expansion of operation wavelength and operational modalities along with the comparison to existing ultrafast laser technologies.</p> <p>The second and the largest part of the course will be dedicated to the discussion of the existing and emerging applications of ultrafast fibre lasers, including analysis of the corresponding performance requirements and technological goals for a specific application. Starting with high-power industrial applications for material processing, the course will discuss strategies for a further expansion of the ultrafast fibre laser systems towards a more diverse range of applications. These include diagnostics and treatment in medicine, neuroscience field and especially optogenetics, scientific applications for nuclear physics, sensing, metrology and security applications.</p> <p>As the result, students will receive a detailed overview of the road map of the ultrafast fibre laser technology development with further perspectives to employ the knowledge and prospects in their future careers. This will be strengthen during accompanying seminars on latest reported advancements and exercises with practical examples of laser systems.</p>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Completion of the exercises (exact extend will be announced at the beginning of the module)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%) The specific form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Zusätzliche Informationen zum Modul	-
Empfohlene Literatur	Literature will be announced at the beginning of the semester
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMO290</b> XUV and X-Ray Optics	
Modulcode	PAFMO290
Modultitel (deutsch)	XUV and X-Ray Optics
Modultitel (englisch)	XUV and X-Ray Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Spielmann (FSU), Dr. D. Kartashov (FSU)
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	keine
Verwendbarkeit (Voraussetzung wofür)	keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	828 MSc. Photon Science and Technology: Required Elective Course Specialization 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Complex refractive index in the XUV and X-ray range;</li> <li>Refractive and grazing incidence optics;</li> <li>Zone plate optics;</li> <li>Thomson and Compton scattering;</li> <li>X-ray diffraction by crystals and synthetic multilayers;</li> <li>VUV and X-ray optics for plasma diagnostics;</li> <li>Time-resolved X-ray diffraction;</li> <li>EUV lithography</li> <li>XUV- and X-ray microscopy</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course covers the fundamentals of modern optics at short wavelengths as they are necessary for the design of EUV and X-ray optical elements. Based on this the students will learn essentials of several challenging applications of short-wavelength optics, being actual in modern science and technology, including XUV- and X-ray microscopy.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche oder mündliche Prüfung (100%)

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFM0901</b> Topics of Current Research I	
Modulcode	PAFM0901
Modultitel (deutsch)	Topics of Current Research I
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research 1
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Pertsch
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advanced topics of current research in optics and photonics</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction into a field of current research as a basis for further study and research in this field;</li> <li>Independent solution of exercise problems;</li> <li>Ability to acquire further knowledge by independent literature studies.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written or oral examination (100%). The selected form of the exam will be announced at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMO902</b> Topics of Current Research II	
Modulcode	PAFMO902
Modultitel (deutsch)	Topics of Current Research II
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research 2
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Pertsch
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	120 h 45 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advanced topics of current research in optics and photonics.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction into a field of current research as a basis for further study and research in this field;</li> <li>Independent solution of exercise problems;</li> <li>Ability to acquire further knowledge by independent literature studies.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.
Zusätzliche Informationen zum Modul	jedes 2. Semester (beginnend ab Sommer)
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFM0903</b> Topics of Current Research III	
Modulcode	PAFM0903
Modultitel (deutsch)	Topics of Current Research III
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research 3
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Pertsch
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advanced topics of current research in optics and photonics</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction into a field of current research as a basis for further study and research in this field;</li> <li>Independent solution of exercise problems;</li> <li>Ability to acquire further knowledge by independent literature studies.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMO904</b> Topics of Current Research IV	
Modulcode	PAFMO904
Modultitel (deutsch)	Topics of Current Research IV
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research 4
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Pertsch
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Advanced topics of current research in optics and photonics.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Introduction into a field of current research as a basis for further study and research in this field;</li> <li>Independent solution of exercise problems;</li> <li>Ability to acquire further knowledge by independent literature studies.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsaufgaben (Art und Umfang wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben.)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	schriftliche oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMP001</b> Fortgeschrittene Quantentheorie	
Modulcode	PAFMP001
Modultitel (deutsch)	Fortgeschrittene Quantentheorie
Modultitel (englisch)	Advanced Quantum Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. S. Bernuzzi, Prof. Dr. H. Gies
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Pflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "adjustment"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrkörpersysteme;</li> <li>• Identische Teilchen;</li> <li>• Symmetrien, Addition von Drehimpulsen;</li> <li>• Zeitabhängige Störungstheorie;</li> <li>• Streutheorie;</li> <li>• Einführung in relativistische Quantenmechanik.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung der Methoden zur Beschreibung und Modellierung von nichtrelativistischen und relativistischen physikalischen Systemen in der Quantenmechanik;</li> <li>• Entwicklung der Fähigkeiten zum selbständigen Lösen von anspruchsvoller Aufgaben und der Behandlung von komplexeren Systemen.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	Lehrbücher der Theoretischen Physik z.B. F. Schwabl; W. Nolting; Straumann; K. Gottfried und T.M. Yan; C. Cohen-Tannoudji.

Unterrichtssprache

Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMP002</b> Physikalisches Experimentieren	
Modulcode	PAFMP002
Modultitel (deutsch)	Physikalisches Experimentieren
Modultitel (englisch)	Research Lab
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Fritz
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Physikalische Fortgeschrittenenpraktika z.B. PAFBP511 und PAFBP611
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Pflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	2 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Praktikum: 6 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	120 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation ausgewählter Experimente im Rahmen eines Themas aus den Teilgebieten der Physik: Optik, Festkörperphysik, Astronomie, Theorie, Computational Physics. Das Projektthema kann aus Angeboten der Physikalisch-Astronomischen Fakultät gewählt werden.
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbständige Einarbeitung in eine spezielle physikalische Fragestellung und Projektplanung;</li> <li>• Fertigkeiten zum selbständigen physikalischen Experimentieren;</li> <li>• Protokollieren, Auswertung, Interpretation und Verfassen eines Projektberichts;</li> <li>• Präsentation der Ergebnisse in Form eines wissenschaftlichen Vortrages oder Posters.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Abschluss der Experimente und Projektarbeit.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Praktikumsbericht Wintersemester (50%), Praktikumsbericht Sommersemester (50%)
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMP003</b> Oberseminar Gravitations- und Quantentheorie	
Modulcode	PAFMP003
Modultitel (deutsch)	Oberseminar Gravitations- und Quantentheorie
Modultitel (englisch)	Advanced Seminar Gravitational and Quantum Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann, Prof. Dr. H. Gies
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Grundlagenwissen in Gravitationstheorie und/oder Quantenfeldtheorie
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Seminar: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	30 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Systematische Erarbeitung von Spezialkenntnissen auf den Gebieten Gravitationstheorie und Quantentheorie;</li> <li>Präsentation und Diskussion aktueller gravitationstheoretischer und quantentheoretischer Probleme.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbständiges Einarbeiten in ein Spezialgebiet;</li> <li>Selbständiges Auffinden und Auswerten wiss. Literatur;</li> <li>Präsentation wissenschaftlicher Sachverhalte;</li> <li>Vertiefte Kenntnisse auf den Gebieten Gravitationstheorie und Quantentheorie.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Seminar. Detaillierte Festlegungen werden zu Semesterbeginn bekanntgegeben.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Fachvortrag (100%)
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFMP004</b> Oberseminar Festkörperphysik/Materialwissenschaft	
Modulcode	PAFMP004
Modultitel (deutsch)	Oberseminar Festkörperphysik/Materialwissenschaft
Modultitel (englisch)	Advanced Seminar Solid State Physics / Material Science
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. T. Fritz
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Festkörper oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Festkörperphysik/Materialwissenschaft“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Seminar: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	30 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Systematische Erarbeitung von Spezialkenntnissen auf den Gebieten Festkörperphysik und Materialwissenschaft;</li> <li>Präsentation und Diskussion aktueller festkörperphysikalischer und materialwissenschaftlicher Probleme.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbständiges Einarbeiten in ein Spezialgebiet;</li> <li>Selbständiges Auffinden und Auswerten wiss. Literatur;</li> <li>Präsentation wissenschaftlicher Sachverhalte;</li> <li>Vertiefte Kenntnisse auf den Gebieten Festkörperphysik und Materialwissenschaft;</li> <li>wissenschaftliches Diskutieren.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Seminar. Detaillierte Festlegungen werden zu Semesterbeginn bekanntgegeben.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Fachvortrag (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	Die Modulnote setzt sich ggfs. aus einer Hausarbeit und einem Vortrag zur Hausarbeit zusammen.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch



Modul <b>PAFMP005</b> Oberseminar Astronomie/Astrophysik	
Modulcode	PAFMP005
Modultitel (deutsch)	Oberseminar Astronomie/Astrophysik
Modultitel (englisch)	Advanced Seminar Astronomy/Astrophysics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Neuhäuser, Prof. Dr. A. Krivov
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Einführung in die Astronomie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	014 LAG Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 014 LAR Drittfach Astronomie: Wahlpflichtmodul 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Astronomie/Astrophysik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Seminar: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	30 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwerpunkte bei Beobachtender Astrophysik: z.B. Infrarot-Astronomie, sub-stellare Objekte, Interferometrie, Adaptive Optik, Endstadien der Sternentwicklung, insbesondere Neutronensterne; Terra-Astronomie</li> <li>• Schwerpunkt bei Theoretischer Astrophysik: z.B. astro-physikalische Zeitskalen, Temperaturen, direkte und inverse Probleme, deterministische und chaotische Phänomene, Standardmodelle der Astrophysik</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlernen von Konzepten der beobachtenden und theoretischen Astrophysik;</li> <li>• Selbständiges Einarbeiten in ein Spezialgebiet;</li> <li>• Selbständiges Auffinden und Auswerten wissenschaftlicher Literatur;</li> <li>• Vorbereiten und Halten eigener Vorträge;</li> <li>• Diskussion von aktuellen Forschungsfeldern;</li> <li>• Systematische Erarbeitung von Spezialkenntnissen auf dem Gebiet der Astronomie/Astrophysik</li> </ul>

Voraussetzung für die Zulassung zur Teilnahme an der Seminardiskussion Modulprüfung	
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Fachvortrag (100%)
Zusätzliche Informationen zum Modul	Absolviert werden muss eines der beiden Seminare (zugeordnete Veranstaltung), entweder Beobachtende Astrophysik (Winter) oder Theoretische Astrophysik (Sommer)
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMP006</b> Oberseminar Optik	
Modulcode	PAFMP006
Modultitel (deutsch)	Oberseminar Optik
Modultitel (englisch)	Advanced Seminar Optics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. C. Spielmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Optik“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Seminar: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	30 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Systematische Erarbeitung von Spezialkenntnissen auf dem Gebiet der modernen Optikforschung;</li> <li>Präsentation und Diskussion aktueller optischer Forschungsgebiete.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbständiges Einarbeiten in ein Spezialgebiet;</li> <li>Selbständiges Auffinden und Auswerten wiss. Literatur;</li> <li>Präsentation wissenschaftlicher Sachverhalte;</li> <li>Vertiefung der Kenntnisse auf modernen Gebieten der Optik.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Aktive Teilnahme an den Diskussionen im Seminar. Detaillierte Festlegungen werden zu Semesterbeginn bekanntgegeben.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Fachvortrag (100%)
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMP090</b> Einführung in wissenschaftliches Arbeiten	
Modulcode	PAFMP090
Modultitel (deutsch)	Einführung in wissenschaftliches Arbeiten
Modultitel (englisch)	Introduction to Research Methods
Modul-Verantwortliche/r	Alle Professoren der PAF
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Pflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	12 SWS Praktische kreative wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung des betreuenden Hochschullehrers, der die Arbeit ausgibt und eines wissenschaftlichen Mitarbeiters.
Leistungspunkte (ECTS credits)	15 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	450 h
- Präsenzstunden	300 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die möglichen Themen des Moduls können aus allen Teilgebieten der Physik ausgewählt werden. Es muss ein betreuender Hochschullehrer für das jeweilige Thema an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät gefunden werden.</li> <li>Erarbeitung der wissenschaftlichen und technischen Grundlagen für die Masterarbeit.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbständiges Erarbeiten von Kenntnissen aus der internationalen Fachliteratur</li> <li>Kritisches Auseinandersetzen mit wissenschaftlichen Ergebnissen</li> <li>Ableitung von Schlussfolgerungen für eigene Zielsetzungen</li> <li>Kennenlernen der Methodik des wissenschaftlichen Arbeitens durch aktive Mitarbeit an Forschungsaufgaben</li> <li>Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bericht über die durchgeführte wissenschaftliche Arbeit, beispielsweise als Präsentation
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Präsentation und Diskussion (Bestanden/nicht bestanden)
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMP091</b> Projektplanung zur Masterarbeit	
Modulcode	PAFMP091
Modultitel (deutsch)	Projektplanung zur Masterarbeit
Modultitel (englisch)	Project Planning for the Master Thesis
Modul-Verantwortliche/r	Alle Professoren der PAF
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Pflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	12 SWS Praktische kreative wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung des betreuenden Hochschullehrers, der die Arbeit ausgibt und eines wissenschaftlichen Mitarbeiters
Leistungspunkte (ECTS credits)	15 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	450 h
- Präsenzstunden	210 h
- Selbststudium	240 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Modul Projektplanung dient der Definition des Inhaltes der Masterarbeit. Dazu muss mindestens ein Arbeitsthema auf wissenschaftliche Relevanz und Durchführbarkeit analysiert werden.</li> <li>Die möglichen Themen der Projektplanung können aus allen Teilgebieten der Physik ausgewählt werden. Es muss ein betreuender Hochschullehrer für das jeweilige Thema an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät gefunden werden.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbständiges Erarbeiten von Kenntnissen aus der internationalen Fachliteratur</li> <li>Kritisches Auseinandersetzen mit wissenschaftlichen Ergebnissen</li> <li>Ableitung von Schlussfolgerungen für eigene Zielsetzungen</li> <li>Ausarbeitung eines wissenschaftlichen Arbeitsplans mit Arbeitszielen</li> <li>Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Abgabe eines Arbeitsplanes für die Masterarbeit, beispielsweise als Präsentation
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Präsentation des Arbeitsplanes mit anschließender Diskussion (bestanden/nicht bestanden)
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMQ001</b> Grundlagen der Quanteninformation	
Modulcode	PAFMQ001
Modultitel (deutsch)	Grundlagen der Quanteninformation
Modultitel (englisch)	Fundamentals of Quantum information
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. F. Steinlechner, PD Dr. F. Setzpfandt, Prof. Dr. M. Gärttner
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	none
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	none
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	528 M.Sc. Quantum Science and Technology, compulsory module ("essentials") 128 M.Sc. Physics: required elective module spezialisation "optics" 628 M.Sc. Photonics: required elective module
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 4 h per week Exercise: 2 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	240 h 90 h 150 h
Inhalte	<p><b>Concepts of quantum information processing</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>introduction to fundamental concepts and the basic formalism</li> <li>entanglement</li> <li>application examples</li> <li>entanglement characterization</li> </ul> <p><b>Hardware for quantum information processing</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>brief review of key physical concepts and applications</li> <li>basic hardware requirements for information processing</li> </ul> <p>optical qubits, gates</p>
Lern- und Qualifikationsziele	Understanding of fundamental properties of quantum states, their applications and how to characterize them. Knowledge about basic hardware requirements for quantum information processing and example implementations.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Solution of exercise sheets (Scope to be announced at the beginning of the module).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written examination

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMQ002</b> Fortgeschrittene Quanteninformationstheorie und -hardware	
Modulcode	PAFMQ002
Modultitel (deutsch)	Fortgeschrittene Quanteninformationstheorie und -hardware
Modultitel (englisch)	Advanced Quantum Information
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. F. Steinlechner, PD Dr. F. Setzpfandt, Prof. Dr. M. Gärttner
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Content of "Introduction to Quantum Information"
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "essentials" 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul Spezialisierung "Optik" 628 M.Sc. Photonics: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Lecture: 4 h per week Exercise: 2 h per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	240 h 90 h 150 h
Inhalte	<p><b>Hardware for quantum information processing</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>superconducting qubits, gates, control, manipulation, readout</li> <li>light-matter interaction</li> <li>semiconductor qubits (quantum dots, defects)</li> <li>atoms / quantum Gases</li> <li>foundations of quantum sensing (sensitivity, noise, standard quantum limit)</li> <li>Optomechanics</li> </ul> <p><b>Concepts of quantum information processing</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>decoherence</li> <li>quantum error correction</li> <li>many-body entanglement</li> </ul> <p>advanced concepts</p>
Lern- und Qualifikationsziele	Knowledge of all eminent concepts for implementing quantum-information systems. Understanding advanced concepts that enable treatment of non-ideal quantum systems.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Solution of exercise sheets (Scope to be announced at the beginning of the module).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Written examination.

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMQ007</b> Quantum Laboratory	
Modulcode	PAFMQ007
Modultitel (deutsch)	Quantum Laboratory
Modultitel (englisch)	Quantum Laboratory
Modul-Verantwortliche/r	PD Dr. F. Setzpfandt
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "practical research training" 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (freier Bereich)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Practical course
Leistungspunkte (ECTS credits)	6 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	180 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	120 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Practical training in experimental quantum technologies. Topics cover a broad range from quantum-state generation and characterization, the demonstration of fundamental quantum effects to applications in communication and metrology.
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to experimental techniques in quantum technologies.</li> <li>• Planning and preparation of a scientific measuring task.</li> <li>• Carrying out scientific lab in optics together with a research team.</li> <li>• Preparation of a scientific report.</li> </ul>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Lab mark (100%) Consists of acceptance tests and written reports
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMQ100</b> Molecular quantum mechanics / quantum chemistry I	
Modulcode	PAFMQ100
Modultitel (deutsch)	Molecular quantum mechanics / quantum chemistry I
Modultitel (englisch)	Molecular quantum mechanics / quantum chemistry I
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. S. Gräfe, Dr. A. Croy
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module „Physical chemistry“ or equivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (freier Bereich) 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 hour lecture, 1 hour excercise per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	In lecture and tutorial, students are taught basics and concepts describing the dynamics of (open) quantum systems (wave packets, density matrix, quantum master equations). Furthermore, aspects of multi-particle physics of molecules are covered, i.e. e.g. multi-electron wave functions, the Hartree-Fock approximation and the role of basis sets.
Lern- und Qualifikationsziele	Become familiar with the fundamentals of open quantum systems and "ab initio" methods for performing quantum chemical calculations with respect to molecular and nanoscale systems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Oral or written examination on the material taught in lecture and seminars.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMQ101</b> Molecular quantum mechanics / quantum chemistry II	
Modulcode	PAFMQ101
Modultitel (deutsch)	Molecular quantum mechanics / quantum chemistry II
Modultitel (englisch)	Molecular quantum mechanics / quantum chemistry II
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. S. Gräfe; Dr. A. Croy
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module "Molecular quantum mechanics / quantum chemistry I" or equivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization" 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (freier Bereich)
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	2 hour lecture 1 hour excercise per week
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Building on Module PAFMQ100, in-depth and advanced knowledge of advanced methods of theoretical chemistry is taught. This includes (time-dependent) density functional theory as well as an introduction to numerical methods, concepts and algorithms for the description of molecular systems that exchange energy and/or charge with their environment.
Lern- und Qualifikationsziele	Familiarization with advanced methods and concepts, such as DFT/ TDDFT. Understanding numerical methods, concepts and algorithms for describing open quantum systems and their application to molecular and nanoscale systems.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Oral or written examination on the material taught in lecture and seminars.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMT001</b> Allgemeine Relativitätstheorie	
Modulcode	PAFMT001
Modultitel (deutsch)	Allgemeine Relativitätstheorie
Modultitel (englisch)	General Relativity
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Relativistische Physik oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "adjustment"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Allgemeinen Relativitätstheorie;</li> <li>• Einsteinsche Feldgleichungen;</li> <li>• Grenzfall Newtonscher Gravitation;</li> <li>• Gravitationswellen;</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung von Kenntnissen der relativistischen Gravitationsphysik;</li> <li>• Entwicklung von Fähigkeiten zur selbständigen Behandlung astrophysikalischer Fragestellungen im Bereich hoher Geschwindigkeiten und starker Gravitationsfelder.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.

Unterrichtssprache

Englisch

Modul <b>PAFMT002</b> Teilchen und Felder	
Modulcode	PAFMT002
Modultitel (deutsch)	Teilchen und Felder
Modultitel (englisch)	Particles and Fields
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. H. Gies
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung: Beispiele klassischer Feldtheorien;</li> <li>• Aspekte klassischer Feldtheorien: Lagrange- u. Hamiltonformalismus, Noether-Theorem u. -Ladungen, Nichtlineare skalare Feldtheorien: <math>O(N)</math>-Modelle, spontane Symmetriebrechung, Goldstone-Theorem;</li> <li>• Felder/Teilchen als Darstellungen der Lorentz-Gruppe: Klassifikation der Darstellungen, Spinoren, Konstruktion von freien Theorien;</li> <li>• Wechselwirkende Theorien: Yukawa-Modelle, QED, abelsche Higgs-Modelle;</li> <li>• Aktuelle Aspekte von Feldtheorien in der Teilchenphysik.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbereitung auf die Quantenfeldtheorie;</li> <li>• Vermittlung der Konzepte und Methoden und Erlangung der Fähigkeiten zur theoretischen Behandlung von Feldtheorien mit Anwendungen in der Teilchenphysik.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Hausarbeit (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT003</b> Quantenfeldtheorie	
Modulcode	PAFMT003
Modultitel (deutsch)	Quantenfeldtheorie
Modultitel (englisch)	Quantum Field Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Ammon
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Teilchen und Felder oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area “specialization”
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prinzipien für relativistische Quantenfeldtheorien;</li> <li>Quantisierung von Klein-Gordon-, Dirac-, und elektromagnetischen Feldern;</li> <li>Störungstheorie und Feynman-Diagramme;</li> <li>S-Matrix und Wirkungsquerschnitte;</li> <li>Funktionalintegrale, effektive Wirkungen und Korrelationsfunktionen;</li> <li>Regularisierung und Renormierung.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung der grundlegenden Prinzipien und Strukturen von Quantenfeldtheorien;</li> <li>Erlangung von Fähigkeiten zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen und zur Berechnung wichtiger Streu- und Zerfallsprozesse.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT010</b> Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie	
Modulcode	PAFMT010
Modultitel (deutsch)	Fortgeschrittene Quantenfeldtheorie
Modultitel (englisch)	Advanced Quantum Field Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Ammon
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module „Teilchen und Felder“ und „Quantenfeldtheorie“ oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area “specialization”
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anomalien in Quantenfeldtheorie; Quantenfeldtheorie bei endlicher Temperatur und Dichte;</li> <li>• Nichtgleichgewichtsdynamik von Feldtheorien;</li> <li>• (Quanten-)Phasenübergänge;</li> <li>• Einführung in konforme Feldtheorie;</li> <li>• Topologische Objekte in Quantenfeldtheorie</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Vermittlung fortgeschrittene Prinzipien und Strukturen von Quantenfeldtheorie
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT011</b> Einführung in Stringtheorie und AdS/CFT	
Modulcode	PAFMT011
Modultitel (deutsch)	Einführung in Stringtheorie und AdS/CFT
Modultitel (englisch)	Introduction to String Theory and AdS/CFT
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Ammon
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Quantenfeldtheorie und Allgemeine Relativitätstheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area “specialization”
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	Relativistischer bosonischer String & dessen Quantisierung, Offene Strings & D-branen, Aspekte der konformen Feldtheorie, Polyakov Pfadintegral, Streuung von Strings, Niederenergie effektive Wirkung, Dualitäten, Kompaktifizierung, Einführung in AdS/CFT, Test von AdS/CFT, Erweiterung und Anwendungen von AdS/CFT.
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung der grundlegenden Prinzipien und Strukturen von Stringtheorie;</li> <li>• Erlangung von Fähigkeiten zur Beschreibung der Wechselwirkungen in supersymmetrischen Theorien mittels Gravitationstheorien.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT012</b> Das Standardmodell der Teilchenphysik	
Modulcode	PAFMT012
Modultitel (deutsch)	Das Standardmodell der Teilchenphysik
Modultitel (englisch)	The Standard Model of Particle Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Wipf
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Quantenfeldtheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>Das Standardmodell der Teilchenphysik:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Symmetrien;</li> <li>• Quantenelektrodynamik;</li> <li>• Starke Wechselwirkung, das Quarkmodell und die Quantenchromodynamik, Hadronen und asymptotische Freiheit;</li> <li>• Schwache Wechselwirkungen und der Higgs-Effekt;</li> <li>• Streuversuche;</li> <li>• Grenzen des Standardmodells.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung der Phänomenologie und der grundlegenden Konzepte der modernen Teilchenphysik;</li> <li>• Umgang mit den Begriffen Teilchen, Wechselwirkungen und Klassifikationsschemata;</li> <li>• Anwendung einfacher Modelle der Teilchenphysik.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT013</b> Eichtheorien	
Modulcode	PAFMT013
Modultitel (deutsch)	Eichtheorien
Modultitel (englisch)	Gauge Theories
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. H. Gies
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Quantenfeldtheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area “specialization”
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eichsymmetrie;</li> <li>• Klassische Yang-Mills-Theorie;</li> <li>• Quantisierung von Eichtheorien, BRST-Formalismus, Gribov-Problem;</li> <li>• Störungstheorie, semiklassische Entwicklungen;</li> <li>• Topologische Konfigurationen;</li> <li>• Confinement-Kriterien und Szenarios.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Vermittlung der Konzepte und Methoden und Erlangung der Fähigkeiten zur theoretischen Behandlung von Eichtheorien mit Anwendungen in der Teilchenphysik.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben) oder Anfertigung einer Hausarbeit.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT014</b> Quantenfeldtheorien auf dem Gitter	
Modulcode	PAFMT014
Modultitel (deutsch)	Quantenfeldtheorien auf dem Gitter
Modultitel (englisch)	Lattice Field Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Wipf
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Quantenfeldtheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 135 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantenfeldtheorien bei endlicher Temperatur;</li> <li>Euklidische Quantenfeldtheorien;</li> <li>Gitterfeldtheorien und Spinmodelle;</li> <li>Exakte Resultate und Näherungen;</li> <li>Monte-Carlo-Simulationen;</li> <li>Renormierungsgruppe;</li> <li>Gitterreichtheorien;</li> <li>Quantenchromodynamik auf dem Gitter.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung von Konzepten und Methoden zum Verständnis von Quantenfeldtheorien auf dem Raumzeit-Gitter und deren engen Beziehung zu Systemen der Statistischen Physik;</li> <li>Entwicklung der Fähigkeiten zur numerischen Simulation von Quantenfeldtheorien incl. Eichtheorien auf dem Gitter.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT015</b> Quantenphysik mit dem Rechner	
Modulcode	PAFMT015
Modultitel (deutsch)	Quantenphysik mit dem Rechner
Modultitel (englisch)	Computational Quantum Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. S. Fritzsche
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Theoretische Mechanik, Elektrodynamik und Quantentheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (freier Bereich) 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 60 h 60 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coulomb-Problem;</li> <li>• Teilchen mit Spin;</li> <li>• Qubits, Quantenregister und Quantengatter;</li> <li>• Darstellung reiner und gemischter Zustände (Blochkugel);</li> <li>• Zusammengesetzte Systeme, nichtunterscheidbare Teilchen;</li> <li>• Hartree-Fock-Methode;</li> <li>• Kopplung von Drehimpulsen.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung computeralgebraischer und numerischer Methoden bei der Beschreibung einfacher Quantenmodelle;</li> <li>• Fähigkeiten zum selbständigen Lösen einfacher Modelle und Aufgaben, Formulierung von Pseudo-Code und effizienter Umgang mit Computeralgebra-Systemen.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder schriftliche Ausarbeitung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT016</b> Symmetrien in der Physik	
Modulcode	PAFMT016
Modultitel (deutsch)	Symmetrien in der Physik
Modultitel (englisch)	Symmetries in Physics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Wipf
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Theoretische Mechanik und Quantenmechanik oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 B.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul (freier Bereich) 128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 60 h 60 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Symmetrien und Gruppen;</li> <li>• Raumzeit-Symmetrien;</li> <li>• Endliche Gruppen und kontinuierliche Liegruppen ;</li> <li>• Lie-Algebren;</li> <li>• Darstellungstheorie, Charakteren;</li> <li>• Ausgewählte Anwendungen in der Festkörperphysik, Atomphysik, Quantenfeldtheorie und Teilchenphysik.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung der Grundlagen über diskrete und kontinuierliche Gruppen, Lie-Algebren und deren Darstellungen mit Anwendungen auf Raumzeit- und innere Symmetrien der Physik;</li> <li>• Beherrschung der Anwendung gruppentheoretischer Methoden in Quantenmechanik, Kristallographie und Elementarteilchenphysik.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT017</b> Theoretische Atomphysik	
Modulcode	PAFMT017
Modultitel (deutsch)	Theoretische Atomphysik
Modultitel (englisch)	Atomic Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. S. Fritzsche
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Quantenmechanik oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 B.Sc. Physics Required elective module 128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 4 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	8 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	240 h
- Präsenzstunden	90 h
- Selbststudium	150 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überblick zu den Einelektronenatomen;</li> <li>• Modelle unabhängiger Elektronen;</li> <li>• Hartree-Fock-Theorie;</li> <li>• Schalen- und Termstruktur von Atomen;</li> <li>• Wechselwirkung mit dem Strahlungsfeld;</li> <li>• Korrelierte Vielteilchenmethoden;</li> <li>• Bethe-Bloch;</li> <li>• Potentialstreuung, atomare Stoßprozesse;</li> <li>• Grundlagen der Dichtematrixtheorie.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Vermittlung der Grundlagen der Atomstruktur und atomarer Stoßprozesse.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT018</b> Physik des Quantenvakuums in starken Feldern	
Modulcode	PAFMT018
Modultitel (deutsch)	Physik des Quantenvakuums in starken Feldern
Modultitel (englisch)	Physics of the Quantum Vacuum in Strong Fields
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. H. Gies
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Quantenfeldtheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 60 h 60 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Theoretische Grundlagen der Quantenelektrodynamik (QED) in starken elektromagnetischen Feldern;</li> <li>Ableitung elementarer Signaturen der Starkfeld-QED;</li> <li>Diskussion von Vorschlägen für deren Nachweis mit aktuellen experimentellen Methoden.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Vermittlung der Konzepte und Methoden und Erlangung der Fähigkeiten zur Bearbeitung von Fragestellungen der Quantenelektrodynamik in starken elektromagnetischen Feldern.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben) oder Anfertigung einer Hausarbeit.
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT019</b> Supersymmetrie	
Modulcode	PAFMT019
Modultitel (deutsch)	Supersymmetrie
Modultitel (englisch)	Supersymmetry
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. A. Wipf
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Quantenfeldtheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supersymmetrische Quantenmechanik</li> <li>Symmetrien und Spinoren</li> <li>Wess-Zumino-Modelle</li> <li>Supersymmetrie-Algebren und Darstellungen</li> <li>Superraum und Superfelder</li> <li>Supersymmetrische Yang-Mills-Theorien.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung der Strukturen und Eigenschaften von supersymmetrischen Theorien und Grundlagen zum Verständnis der neueren Entwicklungen in Elementarteilchenphysik und Stringtheorie.</li> <li>Entwicklung der Fähigkeiten zur Berechnung einfacher Prozesse in supersymmetrischen Theorien.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT020</b> Physik der Skalen - Die Renormierungsgruppe	
Modulcode	PAFMT020
Modultitel (deutsch)	Physik der Skalen - Die Renormierungsgruppe
Modultitel (englisch)	Physics of Scales - The Renormalisation Group
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. H. Gies
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Quantenfeldtheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 60 h 60 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Störungstheoretische Renormierung;</li> <li>• Klassifikation perturbativ renormierbarer Theorien;</li> <li>• Renormierbarkeitsbeweise;</li> <li>• Renormierung in statistischen Systemen;</li> <li>• Renormierungsgruppengleichungen;</li> <li>• Flussgleichungen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung von Kenntnissen der Renormierungstheorie;</li> <li>• Entwicklung von Fähigkeiten zur selbständigen Behandlung quantenfeldtheoretischer Fragestellungen zur Skalenabhängigkeit, Lang- u. kurzreichweites Verhalten von QFTs</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung von Übungsserien (Art und Umfang wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben)
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	mündliche oder schriftliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	Zum Beispiel: J. Cardy (Scaling and Renormalization), J. Zinn-Justin (QFT & Critical Phenomena), Peskin, Schroeder (An Introduction to QFT), K. Huang (From Operators to Path integrals)
Unterrichtssprache	Englisch, Deutsch auf allgemeine Nachfrage

Modul <b>PAFMT099</b> Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantenfeldtheorie I	
Modulcode	PAFMT099
Modultitel (deutsch)	Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantenfeldtheorie I
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research: Quantum Field Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Ammon
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterführende, vertiefende Themen aus dem Bereich der Quantenfeldtheorie;</li> <li>• Themen aus aktuellen Bereichen der Forschung.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertiefung in ein spezielles Gebiet der Quantenfeldtheorie;</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT200</b> Numerische Relativitätstheorie	
Modulcode	PAFMT200
Modultitel (deutsch)	Numerische Relativitätstheorie
Modultitel (englisch)	Numerical General Relativity
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Computational Physics und Allgemeine Relativitätstheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 60 h 60 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Numerische Relativitätstheorie für Schwarze Löcher und Gravitationswellen;</li> <li>(3+1)-Zerlegung der 4-dimensionalen Einstiegleichungen;</li> <li>Numerische Behandlung des Elliptischen Anfangswertproblems;</li> <li>Numerische Behandlung von Zeitentwicklungsgleichungen.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung der Grundlagen und Methoden des numerischen Zugangs zur Allgemeinen Relativitätstheorie;</li> <li>Entwicklung von Fähigkeiten zum selbständigen Lösen von Aufgaben aus diesem Gebiet.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• T. Baumgarte and S. Shapiro, Numerical Relativity and Compact Binaries, Phys.Rept. 376 (2003) 41-131;</li><li>• Alcubierre, Introduction to 3+1 Numerical Relativity (2008).</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT201</b> Gravitationswellen	
Modulcode	PAFMT201
Modultitel (deutsch)	Gravitationswellen
Modultitel (englisch)	Gravitational Waves
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Allgemeine Relativitätstheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Theorie der Gravitationsstrahlung (Strahlungsfeld, Abstrahlung, Strahlungsrückwirkung);</li> <li>Astrophysikalische Quellen von Gravitationswellen;</li> <li>Wirkungsweise von Gravitationswellendetektoren;</li> <li>Analyse von Gravitationswellensignalen.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung vertiefter Kenntnisse der Physik und Astrophysik der Gravitationswellen;</li> <li>Entwicklung von Fähigkeiten zur selbständigen Behandlung von Problemen der Gravitationswellenastronomie.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	Zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"><li>• Misner/Thorne/Wheeler, Weinberg, Shapiro/Teukolsky, Kenyon, Fließbach, Saulson,</li><li>• Schutz: Gravitational Wave Data Analysis.</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT202</b> Computational Physics III	
Modulcode	PAFMT202
Modultitel (deutsch)	Computational Physics III
Modultitel (englisch)	Computational Physics III
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Computational Physics I und II oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>Partielle Differentialgleichungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen Differentialgleichungen;</li> <li>• Grundlagen elliptischer, parabolischer und hyperbolischer Differentialgleichungen;</li> <li>• Explizite und implizite Verfahren,</li> <li>• Stabilitätsanalyse;</li> <li>• Poissons-Gleichung, Diffusions-Gleichung, Advektions-Gleichung, Wellengleichung,</li> <li>• Schocks;</li> <li>• Differenzenverfahren,</li> <li>• Pseudospektralmethoden,</li> <li>• Mehrfachgitter.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung der Grundlagen und Methoden der numerischen Behandlung partieller Differentialgleichungen bzw. des maschinellen Lernens in der Physik;</li> <li>• Selbständige Arbeit an einem individuell abgestimmten numerischen Projekt.</li> </ul>

Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung oder numerisches Projekt (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT203</b> Magnetohydrodynamik	
Modulcode	PAFMT203
Modultitel (deutsch)	Magnetohydrodynamik
Modultitel (englisch)	Magnetohydrodynamics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Meinel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnetohydrodynamische Näherung;</li> <li>• Magnetohydrokinematik (Induktionsgleichung, freier Zerfall von Magnetfeldern, eingefrorene Feldlinien, Dynamoproblem);</li> <li>• Ideale Magnetohydrodynamik, Magnetohydrostatik;</li> <li>• Hartmann-Strömung, Magnetohydrodynamische Wellen, Stabilitätsuntersuchungen;</li> <li>• Anwendungen in der Astrophysik (Magnetfelder von Planeten, Sternen, Galaxien; Sonnenphysik).</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung der Grundlagen und Methoden der Magnetohydrodynamik;</li> <li>• Entwicklung von Fähigkeiten zum selbständigen Lösen von Aufgaben aus diesem Gebiet.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	Zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"><li>• Landau/Lifschitz Band 8;</li><li>• F. Cap, Lehrbuch der Plasmaphysik und Magnetohydrodynamik;</li><li>• D. Lortz, Magnetohydrodynamik;</li><li>• R. Kippenhahn und C. Moellenhoff, Elementare Plasmaphysik.</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT204</b> Relativistische Astrophysik	
Modulcode	PAFMT204
Modultitel (deutsch)	Relativistische Astrophysik
Modultitel (englisch)	Relativistic Astrophysics
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Meinel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Allgemeine Relativitätstheorie oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Newtonsche und relativistische Sternmodelle;</li> <li>• Weiße Zwerge;</li> <li>• Neutronensterne;</li> <li>• Schwarze Löcher.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung vertiefter Kenntnisse der relativistischen Gravitationsphysik, Himmelsmechanik und Astrophysik;</li> <li>• Entwicklung von Fähigkeiten zur selbständigen Lösung astrophysikalischer Fragestellungen auf Gebieten hoher Geschwindigkeit und starker Gravitation.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Empfohlene Literatur	Zum Beispiel: Hartle, Shapiro/Teukolsky, Goenner, Straumann, d'Inverno, Landau/Lifschitz, Misner/Thorne/Wheeler.

Unterrichtssprache

Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT205</b> Solitonen	
Modulcode	PAFMT205
Modultitel (deutsch)	Solitonen
Modultitel (englisch)	Solitons
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. R. Meinel
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik Vertiefung „Quanten- und Gravitationstheorie“: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	alle 2 Jahre (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden - Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	120 h 45 h 75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrable nichtlineare Gleichungen (zum Beispiel Sinus-Gordon-Gleichung, Korteweg-de Vries-Gleichung, Nichtlineare Schrödinger-Gleichung, Toda-Gitter, Ernst-Gleichung);</li> <li>Methoden zur Konstruktion spezieller exakter Lösungen (zum Beispiel n-Solitonenlösungen) und zur Lösung von Anfangs- und Randwertproblemen (Bäcklundtransformation und Inverse Streumethode);</li> <li>Erhaltungssätze und Integrabilität;</li> <li>Solitonen in der Hydrodynamik, der Allgemeinen Relativitätstheorie und in der Nichtlinearen Optik.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermittlung der Grundlagen und Methoden der Solitonenphysik;</li> <li>Entwicklung von Fähigkeiten zum selbständigen Lösen von Aufgaben aus diesem Gebiet.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

Empfohlene Literatur	Zum Beispiel: <ul style="list-style-type: none"><li>• G. Eilenberger, Solitons-Mathematical Methods for Physicists</li><li>• S. Novikov et al., Theory of Solitons: The inverse scattering method</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

Modul <b>PAFMT206</b> Computational Physics IV	
Modulcode	PAFMT206
Modultitel (deutsch)	Computational Physics IV
Modultitel (englisch)	Computational Physics IV
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Module Computational Physics I und II oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maschinelles Lernen in der Physik</li> <li>• Grundlagen des Maschinellen Lernens, Neuronale Netze und Deep Learning</li> <li>• Anwendungsbeispiele in der Physik, Mustererkennung, Zeitreihenanalyse, Monte Carlo Methoden</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung der Grundlagen und Methoden des Maschinellen Lernens in der Physik</li> <li>• Selbständige Arbeit an einem individuell abgestimmten numerischen Projekt</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Numerisches Projekt oder schriftliche Prüfung (100%); wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben
Empfohlene Literatur	A list of literature and materials will be provided at the beginning of the semester.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT299</b> Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie II	
Modulcode	PAFMT299
Modultitel (deutsch)	Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie II
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research: Gravitational Theory
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. B. Brügmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	unregelmäßig, siehe gegebenenfalls zusätzliche Informationen
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	60 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterführende, vertiefende Themen aus dem Bereich der Gravitationstheorie;</li> <li>• Themen aus aktuellen Bereichen der Forschung.</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vertiefung in ein spezielles Gebiet der Gravitationstheorie;</li> <li>• Selbständige Bearbeitung von Übungsaufgaben;</li> <li>• Fähigkeit zur eigenständigen Literaturrecherche.</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Übungsaufgaben (Umfang wird zu Beginn des Moduls bekanntgegeben).
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Klausur oder mündliche Prüfung (100%) Prüfungsform wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.
Unterrichtssprache	Englisch

Modul <b>PAFMT300</b> Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie III	
Modulcode	PAFMT300
Modultitel (deutsch)	Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie III
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research: Gravitation- and Quantum Theory III
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. M. Ammon, Prof. Dr. H. Gies, Prof. Dr. S. Flörchinger
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	none
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Allgemeine Relativitätstheorie PAFMT001 oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<p>The lecture will cover topics in the foundations of quantum mechanics and with relevance to the interplay between quantum physics and gravity with a focus on nonrelativistic laboratory quantum systems, specifically including topics of current research. In particular, the lecture will cover all or a selection of the following topics:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantum systems in the gravitational field of the earth, experiments and relativistic generalisation</li> <li>• Decoherence from spacetime fluctuations</li> <li>• The equivalence principle for quantum matter</li> <li>• Theoretical treatment of classically gravitating quantum systems and experimental distinction from a quantised gravitational field</li> <li>• Interpretations of quantum mechanics, the measurement problem, and the potential role of gravity in quantum wave function reduction</li> </ul>

Lern- und Qualifikationsziele	The course should provide the participating students with a profound knowledge on the state of the art of the foundations of quantum mechanics and experimentally established facts on the interplay between gravitational and quantum physics. It should provide them with an overview of different ideas and approaches how to merge the theoretical description of quantum systems with the principles of general relativity, including obstacles and caveats. The advanced level course is ideally taken by Master students who already have some knowledge of general relativity but is open to interested students at all levels with a basic knowledge in quantum mechanics.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung (100%)
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMT301</b> Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie IV	
Modulcode	PAFMT301
Modultitel (deutsch)	Themen der aktuellen Forschung: Gravitations- und Quantentheorie IV
Modultitel (englisch)	Topics of Current Research: Gravitation- and Quantum Theory IV
Modul-Verantwortliche/r	Prof. Dr. S. Bernuzzi
Empfohlene bzw. erwartete Vorkenntnisse	Modul Allgemeine Relativitätstheorie PAFMT001 oder äquivalent
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physics, Required elective module specialization "Gravitation and Quantum Theory" 528 M.Sc. Quantum Science and Technology, required elective module, subject area "specialization"
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 1 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	4 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	120 h
- Präsenzstunden	45 h
- Selbststudium	75 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Newtonian and Relativistic hydrodynamics Radiation hydrodynamics</li> <li>• Hyperbolic PDEs</li> <li>• Finite volume methods</li> <li>• Riemann problem and solvers</li> <li>• Conservative finite-differencing</li> <li>• Limiters</li> <li>• Galerkin methods</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	This course covers the development of numerical techniques required to solve the nonlinear equations that arise in the study of Fluid Dynamics. It also covers the analytical background that governs the solutions of these equations. By the end of the course the students will have learned the techniques required to write numerical codes to solve problems in fluid dynamics and relativistic hydrodynamics
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	keine
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Schriftliche Prüfung (100%) Die Prüfungsform wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.
Unterrichtssprache	English

Modul <b>PAFMW019</b> Werkstoffthermodynamik in der Praxis	
Modulcode	PAFMW019
Modultitel (deutsch)	Werkstoffthermodynamik in der Praxis
Modultitel (englisch)	Applied Materials Thermodynamics
Modul-Verantwortliche/r	PD Dr. S. Lippmann
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	177 M.Sc. Werkstoffwissenschaft: Wahlpflichtmodul 128 M.Sc. Physik Vertiefung Festkörperphysik: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Sommersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 1 SWS Seminar: 3 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	150 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung der CALPHAD (CALculation of PHAsE Diagrams)-Methode als Grundlage für computergestützte thermodynamische Berechnungen</li> <li>• Darstellung und Interpretation einfacher und komplexer Gleichgewichte (Ein-, Zwei-, Dreistoffsysteme und höher)</li> <li>• Beschreibung von Phasenumwandlungen wie Erstarrung, Festkörperreaktionen und Ausscheidungsbildung</li> <li>• Anwendung der CALPHAD-Methode zur Lösung praxisrelevanter Fragestellungen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden erwerben die Fähigkeit zur Umsetzung von klassischer Thermodynamik in praxisrelevante Fragestellungen und zur lösungsorientierten Methodenbewertung und -anwendung</li> <li>• Sie erlangen ein grundlegendes Verständnis der CALPHADMethode und ihres Potentials</li> <li>• Sie erlangen vertiefende Kenntnisse der Strukturbildung in metallischen Werkstoffen</li> </ul>
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Bearbeitung der Seminararbeiten
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Hausarbeit (100%) zur Lösung eines werkstoffwissenschaftlichen Problems unter Zuhilfenahme thermodynamischer Software

Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Predel "Heterogene Gleichgewichte" 1982, DOI: 10.1007/978-3-642-85320-3</li><li>• Porter, Easterling, Sharif "Phase Transformations in Metals and Alloys" 2021, DOI: 10.1201/9781003011804</li><li>• Mats Hillert „Phase Equilibria, Phase Diagrams and Phase Transformations: Their Thermodynamic Basis" 2008, DOI: 10.1017/CBO9780511812781</li><li>• A. D. Pelton „Thermodynamics and Phase Diagrams" in Physical Metallurgy 2014, DOI: 10.1016/B978-0-444-53770-6.00003-4</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFWW006</b> Elektronenmikroskopie - Grundlagen und Anwendungen	
Modulcode	PAFWW006
Modultitel (deutsch)	Elektronenmikroskopie - Grundlagen und Anwendungen
Modultitel (englisch)	Electronmicroscopy - Fundamentals and Applications
Modul-Verantwortliche/r	PD Dr. S. Lippmann
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul 177 M.Sc. Werkstoffwissenschaft: Wahlpflichtmodul
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes 2. Semester (ab Wintersemester)
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Seminar: 3 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in: - Präsenzstunden	150 h 75 h
- Selbststudium (einschl. Prüfungsvorbereitungen)	75 h
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prinzip und Wirkungsweise REM, TEM, STEM</li> <li>Detektoren, Bildgebung, Elektronenbeugung</li> <li>Konzentrationsanalyse (EDS, WDS, EELS)</li> <li>Probenpräparation (mechanisch, physikalisch, chemisch)</li> <li>Konkrete Beispiele zur Lösung materialwissenschaftlicher Fragestellungen</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erwerb der Fach- und Methodenkompetenz für elektronenmikroskopische Techniken zur Lösung materialwissenschaftlicher Fragestellungen</li> <li>Förderung der Sozial- und Selbstkompetenz in Fachdiskussionen und Projektarbeit</li> </ul>
Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	<p>Lösung einer materialwissenschaftlichen Fragenstellung mithilfe elektronenmikroskopischer Werkzeuge (100%)</p> <p>Zu bearbeitenden Fragestellungen werden zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.</p>
Empfohlene Literatur	<p>Williams, D. B., Carter, C. B. „Transmission Electron Microscopy“ Springer 2009</p> <p>Hornbogen, E., Skrotzki, B. „Mikro- und Nanoskopie der Werkstoffe“ Springer 2009</p>
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFWW027</b> Phasenfeldtheorie	
Modulcode	PAFWW027
Modultitel (deutsch)	Phasenfeldtheorie
Modultitel (englisch)	Phase Field Theory (intensive)
Modul-Verantwortliche/r	Dr. P. Galenko
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Keine
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	177 M.Sc. Werkstoffwissenschaft: Wahlpflichtmodul 128 M.Sc. Physik: Wahlpflichtmodul Spezialisierung Festkörperphysik/ Materialwissenschaft
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	Vorlesung: 2 SWS Übung: 2 SWS
Leistungspunkte (ECTS credits)	5 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	150 h
- Präsenzstunden	60 h
- Selbststudium	90 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung: Mean-Field-Theorie, Phasenübergänge, Ordnungsparameter</li> <li>• konservative und nicht-konservative Phasenfeld-Modelle</li> <li>• Analytische Lösungen: Gleichgewicht und Dynamik</li> <li>• Erweiterte Modelle: Mehrphasen-Felder, "Phase Field Crystal";</li> <li>• schnelle diffuse Grenzflächen</li> <li>• Modellierung: Grundlagen numerischer Algorithmen, numerischer Schemen und Verfahren</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	Kenntnisse über Grundlagen der Theorie der Phasenübergänge mit diffuser und scharfer Grenze. Das Finden der Phasenfeld-Gleichungen, die analytische Lösung der Gleichungen für stationäre Systeme und für das Selbst-ähnliche Regime. Die Bestimmung der physikalischen Bedeutung der thermodynamischen und kinetischen Parameter des Phasenfelds. Numerische Integration der einfachsten Phasenfeld-Gleichungen in nicht-stationären Systemen. In der Übung werden die Modelle auf praktische Beispiele angewendet. Eine individuelle Konsultation dient der Unterstützung bei der Erstellung einer Projektarbeit.
Voraussetzung für die Zulassung zur Modulprüfung	Teilnahme an den Übungen, Abgabe einer Projektarbeit

Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten (Prüfungsform)	Mündliche Prüfung (100%)
Empfohlene Literatur	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ausführliches Vorlesungsskript</li><li>• N. Provatas, K. Elder: Phase-field methods in Materials Science and Engineering, WILEY-VCH, Weinheim, 2010;</li><li>• H. Emmerich: The diffuse interface approach in materials science, Springer, Berlin 2003</li></ul>
Unterrichtssprache	Deutsch

Modul <b>PAFMP099</b> Masterarbeit Physik	
Modulcode	PAFMP099
Modultitel (deutsch)	Masterarbeit Physik
Modultitel (englisch)	Master thesis
Modul-Verantwortliche/r	Alle Professoren PAF
Voraussetzung für die Zulassung zum Modul	Module Einführung in wiss. Arbeiten PAFM097, Projektplanung zur Masterarbeit PAFM098
Art des Moduls (Pflicht-, Wahlpflicht- oder Wahlmodul)	Pflichtmodul M.Sc. Physik
Häufigkeit des Angebots (Modulturnus)	jedes Semester
Dauer des Moduls	1 Semester
Zusammensetzung des Moduls / Lehrformen (V, Ü, S, Praktikum, ...)	25 SWS praktische kreative wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung des betreuenden Hochschullehrers, der die Arbeit ausgibt und eines wissenschaftlichen Mitarbeiters.
Leistungspunkte (ECTS credits)	30 LP
Arbeitsaufwand (work load) in:	900 h
- Präsenzstunden	500 h
- Selbststudium	400 h
(einschl. Prüfungsvorbereitungen)	
Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Thema der Materarbeit wird mit dem Einführungsprojekt festgelegt und kann aus allen Teilgebieten der Physik ausgewählt werden, die an der Physikalisch-Astronomischen Fakultät von Hochschullehrern vertreten werden.</li> <li>Erarbeitung neuer wissenschaftlicher Kenntnisse auf einem Teilgebiet der Physik unter Anleitung</li> </ul>
Lern- und Qualifikationsziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selbständiges Erarbeitung von Kenntnissen aus der internationalen Fachliteratur</li> <li>Wissenschaftliche Arbeit in einem Forscherkollektiv nach einem Plan</li> <li>Zusammenfassende Darstellung wissenschaftlicher Ergebnisse in der Masterarbeit</li> <li>Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse</li> <li>Präsentation der Ergebnisse in Form eines wissenschaftlichen Vortrages oder Posters.</li> </ul>
Unterrichtssprache	Deutsch, Englisch

# Abkürzungen:

## Abkürzungen für Veranstaltungen

AVL....	Antrittsvorlesung
AG....	Arbeitsgemeinschaft
AM....	Aufbaumodul
AS....	Ausstellung
BM....	Basismodul
BzPS....	Begleitveranstaltung zum Praxissemester
B....	Beratung
Bes....	Besichtigung
KB....	Besprechung
Blo....	Blockierung
BV....	Blockveranstaltung
DV....	Diavortrag
EF....	Einführungsveranstaltung
ES....	Einschreibungen
EKK....	Examensklausurenkurs
EX....	Exkursion
Exp....	Experiment/Erhebung
FE....	Feier/Festveranstaltung
F....	Filmvorführung
GÜ....	Geländeübung
GK....	Grundkurs
HpS....	Hauptseminar
HS/B....	Hauptseminar/Blockveranstaltung
HS/Ü....	Hauptseminar/Übung
Inf....	Informationsveranstaltung
IHS/Ü....	Interdisziplinäres Hauptseminar/Übung
KS....	Klausur
KS/PR....	Klausur/Prüfung
K....	Kolloquium
K/P....	Kolloquium/Praktikum
KS....	Konferenz/Symposium
KV....	Kulturelle Veranstaltung
Ku....	Kurs

## Abkürzungen für Veranstaltungen

Ku....	Kurs
Lag....	Lagerung
LFP....	Lehrforschungsprojekt
Lek....	Lektürekurs
M....	Modul
MV....	Musikveranstaltung
OS....	Oberseminar
OnLS....	Online-Seminar
OnV....	Online-Vorlesung
P....	Praktikum
PrS....	Praktikum/Seminar
PM....	Praxismodul
Pr....	Probe
PJ....	Projekt
PPD....	Propädeutikum
PS....	Proseminar
PR....	Prüfung
PrVo....	Prüfungsvorbereitung
QB....	Querschnittsbereich
RE....	Repetitorium
V/R....	Ringvorlesung
SU....	Schulung
S....	Seminar
S/E....	Seminar/Exkursion
S/Ü....	Seminar/Übung
SZ....	Servicezeit
Sl....	Sitzung
SoSch....	Sommerschule
SO....	Sonstiges
SV....	Sonstige Veranstaltung
SK....	Sprachkurs
TG....	Tagung
TT....	Teleteaching
TN....	Treffen
Tu....	Tutorium
T....	Tutorium
Ü....	Übung
Ü/B....	Übung/Blockveranstaltung
Ü....	Übungen
Ü/I....	Übung/Interdisziplinär

## Abkürzungen für Veranstaltungen

Ü/P....	Übung/Praktikum
Ü/T....	Übung/Tutorium
Ve....	Versammlung
ViKo....	Videokonferenz
V....	Vorlesung
V/K....	Vorlesung m. Kolloquium
V/P....	Vorlesung/Praktikum
V/S....	Vorlesung/Seminar
V/Ü....	Vorlesung/Übung
Vor....	Vortrag
VT....	Vortrag
WS....	Wahlseminar
WV....	Wahlvorlesung
We....	Weiterbildung
Wo....	Workshop
WOS....	Workshop
ZÜ....	Zeugnisübergabe

## Other Abbreviations

Anm.....	Anmerkung
ASQ....	Allgemeine Schlüsselqualifikationen
AT....	Altes Testament
E....	Essay
FSQ....	Fachspezifische Schlüsselqualifikationen
FSV....	Fakultät für Sozial- und Verhaltenswissenschaften
GK....	Grundkurs
IAW....	Institut für Altertumswissenschaften
LP....	Leistungspunkte
NT....	Neues Testament
SQ....	Schlüsselqualifikationen
SS....	Sommersemester
SWS....	Semesterwochenstunden
TE....	Teilnahme
TP....	Thesenpublikation
ThULB....	Thüringer Universitäts- und Landesbibliothek
VVZ....	Vorlesungsverzeichnis
WS....	Wintersemester