

Masterstudiengang Quantum Engineering

vorläufiger Modulkatalog

Stand 19.05.2022

Fakultät für Mathematik und Physik
der Leibniz Universität Hannover

in Verbindung mit
der QUEST-Leibniz-Forschungsschule

in Kooperation mit
der Technischen Universität Braunschweig



Inhaltsverzeichnis

Musterstudienverlauf Schwerpunkt Quantenkommunikation (Start WiSe)	4
Musterstudienverlauf Schwerpunkt Quantencomputing und -simulation (Start WiSe)	5
Musterstudienverlauf Schwerpunkt Quantenmetrologie und -sensorik mit Licht (Start WiSe).....	6
Musterstudienverlauf Schwerpunkt Quantenmetrologie und -sensorik mit Atomen (Start WiSe)	7
Pflichtmodule	8
Grundlagen	8
Praktische Anwendung	12
Seminar & Schlüsselkompetenzen	10
Wahlpflichtmodule	13
Bereich Quantum (LUH)	15
Bereich Engineering (TUBS)	34
Masterarbeit und Forschungsphase	52

Musterstudienverlaufsplan

Semester/Bereich	1. Semester		2. Semester		3. Se.	4. Se.	LP
Physik Pflicht	Quantenoptik + Fortgeschrittene Festkörperphysik						10
Physik Wahlpflicht	QuantumFrontiers nahe Veranstaltungen (nichtklassische Materiewellenmetrologie, nichtklassisches Licht, theoretische Atomoptik, optische Frequenzmetrologie, etc.)						15
ET Wahlpflicht	Veranstaltungen aus der Elektrotechnik (TUBS) bzw. Elektronische Metrologie im Optiklabor						15
Praktikum	Computational Methods, Simulations & Experimental Control						5
	2 Wochen: Data Analysis	2 Wochen: Mikrocontroller/FPGA	2 Wochen: QuTiP	2 Wochen: ARTIQ			
Projektarbeit	Projektarbeit oder (Quanten-) Industriepraktikum						8
Seminar	Seminar						3
Schlüsselkompetenzen	Lehrveranstaltung aus dem Angebot des LLC, LUIS; ZQS oder der Fakultät						4
Masterarbeit					Masterarbeit Forschungspraktikum/ Projektplanung		60
	30		30		30	30	120

Interessenschwerpunkt Quantenkommunikation (Bsp. Start WiSe)

Semester/Bereich	1. Semester		2. Semester		3. Se.	4. Se.	LP
Physik Pflicht (LUH)	Quantenoptik + Fortgeschrittene Festkörperphysik						10
Physik Wahlpflicht (LUH)	Single Photon Sources		Quantenstrukturbauelemente + Nichtlineare Optik				15
ET Wahlpflicht (TUBS)	Optische Nachrichten-technik + Informationstheorie		Optoelektronik				15
Praktikum (LUH)	Computational Methods, Simulations & Experimental Control						5
	2 Wochen: Data Analysis	2 Wochen: Mikrocontroller/FPGA	2 Wochen: QuTiP	2 Wochen: ARTIQ			
Projektarbeit	Projektarbeit oder (Quanten-) Industriepraktikum						8
Seminar (LUH)	Integrated quantum optics oder Solid state quantum technology, quantum information, and single photon emitter oder Integrated Quantum Systems and Quantum Technologies						3
Schlüsselkompetenzen (LUH)		Lehrveranstaltung aus dem Angebot des LLC, LUIS; ZQS oder der Fakultät					4
Masterarbeit					Masterarbeit Forschungspraktikum/ Projektplanung		60
	30		30		30	30	120

Interessenschwerpunkt Quantencomputing und -simulation (Bsp. Start WiSe)

Semester/Bereich	1. Semester		2. Semester		3. Se.	4. Se.	LP	
Physik Pflicht (LUH)	Quantenoptik + Fortgeschrittene Festkörperphysik						10	
Physik Wahlpflicht (LUH)	Fortgeschrittene Computerphysik		Quantencomputing + Quantendynamik und Theoretische Quantenoptik				15	
ET Wahlpflicht (TUBS)	Integrierte Schaltungen		Aufbau und Verbindungstechnik in der Elektronik + Nanoelektronik				15	
Praktikum (LUH)	Computational Methods, Simulations & Experimental Control						5	
	2 Wochen: Data Analysis	2 Wochen: Mikrocontroller/F PGA	2 Wochen: QuTiP	2 Wochen: ARTIQ				
Projektarbeit	Projektarbeit oder (Quanten-) Industriepraktikum						8	
Seminar (LUH)	Quantum Optics meets Quantum Information oder Quantum Information Theory oder Technikfolgenabschätzung für Quantencomputer und Quantentechnologie						3	
Schlüsselkompetenzen (LUH)		Lehrveranstaltung aus dem Angebot des LLC, LUIS; ZQS oder der Fakultät						4
Masterarbeit					Masterarbeit Forschungspraktikum/ Projektplanung		60	
	30		30		30	30	120	

Interessenschwerpunkt Quantenmetrologie und -sensorik mit Licht (Bsp. Start WiSe)

Semester/Bereich	1. Semester		2. Semester		3. Se.	4. Se.	LP	
Physik Pflicht (LUH)	Quantenoptik + Fortgeschrittene Festkörperphysik						10	
Physik Wahlpflicht (LUH)	Optische Experimente und ihre Kontrolle		Nichtklassisches Licht & Nichtklassische Laserinterferometrie + Nichtlineare Optik				15	
ET Wahlpflicht (TUBS)	Advanced Electronic Devices		Optoelektronik + Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung				15	
Praktikum (LUH)	Computational Methods, Simulations & Experimental Control						5	
	2 Wochen: Data Analysis	2 Wochen: Mikrocontroller/FPGA	2 Wochen: QuTiP	2 Wochen: ARTIQ				
Projektarbeit	Projektarbeit oder (Quanten-) Industriepraktikum						8	
Seminar (LUH)	Optische Komponenten oder Quantum Optics meets Quantum Information						3	
Schlüsselkompetenzen (LUH)		Lehrveranstaltung aus dem Angebot des LLC, LUIS; ZQS oder der Fakultät						4
Masterarbeit					Masterarbeit Forschungspraktikum/ Projektplanung		60	
	30		30		30	30	120	

Interessenschwerpunkt Quantenmetrologie und -sensorik mit Atomen (Bsp. Start WiSe)

Semester/Bereich	1. Semester		2. Semester		3. Se.	4. Se.	LP
Physik Pflicht (LUH)	Quantenoptik + Fortgeschrittene Festkörperphysik						10
Physik Wahlpflicht (LUH)	Quantensensorik		Nichtklassische Atomoptik + Nichtlineare Optik				15
ET Wahlpflicht (TUBS)	Digitale Schaltungen		Optoelektronik + Aufbau und Verbindungstechnik in der Elektronik				15
Praktikum (LUH)	Computational Methods, Simulations & Experimental Control						5
	2 Wochen: Data Analysis	2 Wochen: Mikrocontroller/FPGA	2 Wochen: QuTiP	2 Wochen: ARTIQ			
Projektarbeit	Projektarbeit oder (Quanten-) Industriepraktikum						8
Seminar (LUH)	Quantenlogik mit gefangenen Ionen oder Fortgeschrittene Methoden der Quantensensorik oder Moderne Experimente der Atomphysik und Quantenoptik						3
Schlüsselkompetenzen (LUH)		Lehrveranstaltung aus dem Angebot des LLC, LUIS; ZQS oder der Fakultät					4
Masterarbeit					Masterarbeit Forschungspraktikum/ Projektplanung		60
	30		30		30	30	120

Pflichtmodule

Grundlagen

Quantenoptik		Kennnummer/Prüfcode ---
Master Quantum Engineering		Modultyp Pflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls M. Sc. Physik		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden verstehen die grundlegenden Konzepte der Quantenoptik und können diese eigenständig auf ausgewählte Probleme anwenden. Sie kennen fortgeschrittene experimentelle Methoden des Gebietes und können diese unter Anleitung anwenden.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Quantisierung des EM-Feldes • Quantenzustände des EM-Feldes (Fock, Glauber, squeezed states) • Heisenbergsche Unschärfe Relation (Anzahl/ Phase, Amplituden-/ Phasenquadratur) • Photonenzustand, Quantenrauschen • Bell's Ungleichung und Nichtlokalität • Erzeugung von Squeezing und Entanglement • Spontane Emission, Lamb shift, Casimir-Effekte • Atom-Feld-Wechselwirkung mit kohärenten Feldern, dressed states • Photonen-Streuung, Feynman-Graphen • Mehrphotonen-Prozesse • Quantentheorie der nichtlinearen Suszeptibilität • Experimente der modernen Quantenoptik 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Quantenoptik“, 3 SWS Übung „Quantenoptik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Kohärente Optik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> 30 min mündliche Prüfung oder 90-120 min Klausur	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Mandel/Wolf, Optical Coherence and Quantum Optics, Cambridge University Press ☒ Walls/Milburn, Quantum Optics, Springer ☒ Bachor/Ralph, A Guide to experiments in Quantum Optics, Wiley-VCH ☒ Schleich, Quantum Optics in Phase space, Wiley-VCH ☒ Originalliteratur 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Piet O. Schmidt	

Fortgeschrittene Festkörperphysik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Pflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls M. Sc. Physik		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse über theoretische Modelle und experimentelle Ergebnisse der Festkörperphysik. Sie sind in der Lage, ausgewählte Phänomene zu klassifizieren und Modelle auf ihrem Verständnisniveau zu entwickeln. Sie lernen wichtige Entwicklungen auf dem Gebiet kennen, die sich in den letzten Jahrzehnten ergeben haben, und haben einen klaren Eindruck von aktuellen ungelösten Problemen der Festkörperphysik. Die Studierenden sind in der Lage, Vor- und Nachteile bestimmter experimenteller Techniken zu beurteilen und erwerben Kenntnisse über die Komplementarität verschiedener experimenteller Möglichkeiten.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Dielektrische Eigenschaften • Quantenoptik in Festkörpern • Magnetismus • Supraleitfähigkeit • Neue Themen in der Festkörperphysik (Phasenübergänge, niedrigdimensionale Systeme, Quantencomputer, topologische Zustände) 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Fortgeschrittene Festkörperphysik“, 3 SWS Übung „Fortgeschrittene Festkörperphysik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Einführung in die Festkörperphysik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Tests	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Tests + Klausur 90 min	
6	Literatur ☒ R. Gross und A. Marx, Festkörperphysik, De Gruyter ☒ D. Snoke, Festkörperphysik: Grundlegende Konzepte, Cambridge University Press	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Festkörperphysik (FKP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Fei Ding	

Seminar & Schlüsselkompetenzen

Seminar		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Pflicht
Leistungspunkte 3 LP / 2 SWS	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 90 h Davon Präsenzzeit: 30 h Davon Selbststudium: 60 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden sind in der Lage, zu einem vorgegebenen, aktuellen Thema aus der modernen Physik, das z.T. noch Gegenstand der Forschung ist, selbstständig Literatur zu recherchieren. Die Studierenden sind in der Lage, sich ein aktuelles Wissensgebiet selbstständig zu erarbeiten. Die Studierenden können einen Vortrag über ein komplexes Thema der modernen Physik strukturieren und halten, dass ein physikalisch gebildetes Publikum dem Vortrag gut folgen kann. Durch die Gestaltung des Vortrags können sie die Zuhörer auch für ein komplexes Spezialthema interessieren. Die Studierenden sind in der Lage eine ansprechende Präsentation zu erstellen. (PowerPoint o.ä.). Die Studierenden sind in der Lage, eine wissenschaftliche Diskussion zu führen (über das eigene Thema genauso wie über die Themen der anderen Seminarteilnehmer). Die Studierenden beherrschen die deutsche bzw. englische Fachsprache in freier Rede. Das Erreichen der Kompetenzziele erfordert eine kontinuierliche Teilnahme.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Fortgeschrittene Themen der Physik 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Lehrveranstaltungen aus dem Angebot des Leibniz Language Centers oder des Zentrums für Schlüsselkompetenzen und entsprechend ausgewiesenen Angeboten der Fakultäten sowie Computerkurse aus dem Angebot des Rechenzentrums.	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten <i>Studienleistungen:</i> - <i>Prüfungsleistungen:</i> Seminarleistung	
6	Literatur wird in den Lehrveranstaltungen bekanntgegeben	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Fakultät für Mathematik und Physik	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Studiendekan/in	

Schlüsselkompetenzen		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Pflicht
Leistungspunkte 4 LP / 3 SWS	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 120 h	Davon Präsenzzeit: 42 h	Davon Selbststudium: 78 h
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Sie erlernen und beherrschen exemplarische Schlüsselkompetenzen auf dem Gebiet der gewählten Lehrveranstaltung.	
2	Inhalte des Moduls • Inhalt in Abhängigkeit von der gewählten Lehrveranstaltung	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Lehrveranstaltungen aus dem Angebot des Fachsprachenzentrums oder des Zentrums für Schlüsselkompetenzen und entsprechend ausgewiesenen Angeboten der Fakultäten sowie Computerkurse aus dem Angebot des Rechenzentrums.	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> gemäß §6 der Prüfungsordnung	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> -	
6	Literatur	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Fakultät für Mathematik und Physik	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Studiendekan/in	

Praktische Anwendung

Computational Methods, Simulations & Experimental Control		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Pflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester und 2. Semester	Moduldauer 8 Wochen über 2 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h	Davon Präsenzzeit: 30 h	Davon Selbststudium: 120 h
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden lernen simulierte experimentelle und numerische Methoden kennen, wenden diese selbst an und entwickeln Modellvorstellungen zur Erklärung der experimentellen und numerischen Ergebnisse. Sie kennen die Funktion und Programmierung komplexer mikroelektronischer Komponenten und Entwicklungsumgebungen und können diese sowohl für die Experimentsteuerung als auch für die Messdatenerfassung in Echtzeitumgebungen richtig einsetzen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Fortgeschrittene Datenanalyse • Mikrokontroller und FPGA-Programmierung • Quantenoptik-Simulationen mit QuTiP • Echtzeit-Experimentsteuerung mit ARTIQ 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Praktikum, 4 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> 20 min Testat und Protokoll (5-10 Seiten)	
6	Literatur	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), Institut für Festkörperphysik (FKP), Institut für Gravitationsphysik (IGP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Piet O. Schmidt	

Wahlpflichtmodule

Praktische Anwendung

Projektarbeit		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 8 LP / 6 SWS	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 2. Semester	Moduldauer 8 Wochen
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 320 h		Davon Präsenzzeit: -
		Davon Selbststudium: 220 h
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden kennen typische Aufgabenfeldern und Tätigkeitsbereiche von Absolventen und Absolventinnen im Bereich des Quantenengineerings in der Forschung. Sie können sich in ein Arbeitsumfeld mit Wissenschaftlern und Ingenieuren angrenzender Fachgebiete eingliedern und im Team aktiv einbringen. Sie kennen exemplarisch die Weiterentwicklung von wissenschaftlichen Erkenntnissen in einem Forschungsumfeld und verstehen die Aufgabenstellungen die hierbei auftreten.	
2	Inhalte des Moduls Projektarbeit in einer Forschungsgruppe an einer Universität oder außeruniversitären Forschungseinrichtung. Die Projektarbeit soll in einem typischen Forschungsumfeld eines Quanteningenieurs abgeleistet werden. Im Rahmen der Projektarbeit soll möglichst ein definiertes (kleines) Forschungsprojekt bearbeitet werden. Die Länge beträgt mindestens acht Wochen.	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen ---	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Ausarbeitung der Projektarbeit (10-15 Seiten)	
6	Literatur Aktuelle Literatur zur jeweiligen wissenschaftlichen Problemstellung	
7	Weitere Angaben Das Praktikum ist vorab genehmigungspflichtig durch den/die Vorsitzende/n des Prüfungsausschusses.	
8	Organisationseinheit Versch. Fakultäten	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Studiendekan/in	

Quanten-Industriepraktikum		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 8-13 LP / 6-10 SWS	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 2. Semester	Moduldauer 8-12 Wochen
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 320 h – 480h		Davon Präsenzzeit: - Davon Selbststudium: 320 h – 480h
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden kennen typische Aufgabenfeldern und Tätigkeitsbereiche von Absolventen und Absolventinnen im Bereich des Quantenengineerings in der beruflichen Praxis. Sie können sich in ein Arbeitsumfeld mit Wissenschaftlern und Ingenieuren angrenzender Fachgebiete eingliedern und im Team aktiv einbringen. Sie kennen exemplarisch die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in einem industriellen Prozess und verstehen die Aufgabenstellungen die hierbei auftreten.	
2	Inhalte des Moduls Praktikum in einem Industriebetrieb. Universitäre Institute sind ausgeschlossen, in Ausnahmefällen kann das Praktikum auch in einer außeruniversitären Forschungseinrichtung stattfinden. Das Praktikum soll in einem typischen Berufsfeld eines Quanteningenieurs abgeleistet werden. Im Rahmen des Praktikums soll möglichst ein definiertes (kleines) Projekt bearbeitet werden. Die Länge beträgt mindestens acht Wochen.	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Praktikum	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Praktikumsbericht (10-15 Seiten)	
6	Literatur	
7	Weitere Angaben Für die Dauer des Industriepraktikums sind 8 Wochen vorgesehen, die mit 8 LP vergütet werden. Wird das Industriepraktikum auf 12 Wochen verlängert, werden zusätzliche 5 LP vergeben. Stattdessen ist ein Wahlpflichtmodul weniger zu belegen. Wird das Industriepraktikum beliebig verlängert, können dafür keine weiteren LP vergeben werden.	
8	Organisationseinheit QUEST-LFS, LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Stellv. Vorsitzende/r QUEST-LFS	

Bereich Quantum (LUH)

Festkörperspektroskopie		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden erwerben Kenntnisse über spektroskopische Analyseverfahren, um die Materialeigenschaften von Festkörpern untersuchen zu können. Insbesondere halbleiterspezifischen Problemen können die Studierenden mit den entsprechenden gelehrt Methoden gezielt begegnen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Kurzpuls laser • Licht-Materie-Wechselwirkung • Pump-Abfrage Techniken • Zeitaufgelöste Photolumineszenz • Polarisation (Jones-Matrix, Stokes-Vektor) • Halbleiteroptik • Physikalische Grenzen der Zeitauflösung und Messempfindlichkeit • Rauschen als Messgröße • Besonderer Berücksichtigung halbleiterspezifischer Probleme, Konzepte und Methoden • Querverbindungen zu technologischen Anwendungen in der Photovoltaik, Mikro- und Optoelektronik 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung: „Optische Spektroskopie von Festkörpern“, 2 SWS Vorlesung: „Thermodynamik, Kinetik und Struktur von Defekten in Halbleitern“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Einführung in die Festkörperphysik, Grundlagen der Halbleiterphysik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Jean-Claude Diels, Wolfgang Rudolph, „Ultrashort Laser Pulse Phenomena“, Academic Press ☒ C. Klingshirn, „Semiconductor Optics“ Second Edition, Springer ☒ Wird in der Vorlesung bekannt gegeben 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Festkörperphysik (FKP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Geschäftsleitung FKP	

Physik in Nanostrukturen		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden erwerben Kompetenzen, die für die Entwicklung von Nanostrukturen geeignet sind. Die Studierenden lernen experimentelle Methoden zur Herstellung und Verbesserung von Nanostrukturen kennen und anzuwenden.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Herstellung von Nanostrukturen durch Lithographie und Selbstorganisation • Elektronische Struktur, Grenzflächenzustände • Quantensize Effekte • Transportsignaturen in mesoskopischen Systemen • Magnetowiderstandseffekte • Quantenhall Effekt, u.a. in Graphen • Instabilitäten 1-dimensionaler Strukturen • Einzelelektronen Transistoren • Molekulare Elektronik • Experimentelle Methoden 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Physik in Nanostrukturen“, 2 SWS Übung „Physik in Nanostrukturen“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Einführung in die Festkörperphysik, Oberflächenphysik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Ivan V Markov, Crystal Growth for Beginners, (World Scientific) ☒ Thomas Heinzel, Mesoscopic Electronics in Solid State Nanostructure, (Wiley) ☒ Philip Hofmann, Surface Science: An Introduction, (Kindle Edition) ☒ Rainer Waser, Nanoelectronics and Information Technology, (Wiley) 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Festkörperphysik (FKP)	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Geschäftsleitung FKP	

Quantenstrukturbauelemente		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden ein vertieftes Verständnis quantenmechanischer Phänomene in Halbleiter-Bauelementen. Sie besitzen die Befähigung, Halbleiter-Quantenstrukturen zu entwerfen und zu dimensionieren.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Quanteneffekte in Halbleiterstrukturen • Physik zweidimensionaler Elektronengase • Quantendrähte • Quantenpunkte • Kohärenz- und Wechselwirkungseffekte • Einzelelektronentunneltransistor • Quantencomputing 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Quantenstrukturbauelemente“, 3 SWS Übung „Quantenstrukturbauelemente“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Einführung in die Festkörperphysik, Fortgeschrittene Festkörperphysik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> 30 min Mündliche Prüfung oder 90-120 min Klausur	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ C. Weisbuch, B. Vinter, Quantum Semiconductor Structures, Academic Pr Inc ☒ S.M. Sze, Semiconductor Devices: Physics and Technology, Wiley ☒ M.J. Kelly, Low-Dimensional Semiconductors: Materials, Physics, Technology, Devices, Oxford University Press 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Festkörperphysik (FKP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Geschäftsleitung FKP	

Quantensensorik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 60 h
Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden verstehen die grundlegenden Konzepte von Quantensensoren wie optischen Uhren und Materiewellen-Interferometern, sowie deren Charakterisierung. Sie kennen fortgeschrittene experimentelle Methoden des Gebietes und können diese unter Anleitung anwenden. Sie sind vertraut mit Anwendungen von optischen Uhren und Materiewellen-Interferometern und können diese selbstständig und kompetent bewerten.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Atom-Licht Wechselwirkung • Gefangene Ionen, Atome in optischen Gittern • Komponenten einer optischen Uhr und Uhrenbetrieb • Systematische Effekte und ihre Unterdrückung; Beispiele optischer Uhren • Optische Frequenzkämme und Frequenzverteilung • Statistische Unsicherheit von Uhren • Anwendungen und zukünftige Entwicklungen: Fundamentale Physik, Geodäsie, Multi-Ionen-Uhren, Verschränkung • Beugung von Atomen und Molekülen an Materialgittern und Spaltöffnungen • Atominterferometrie mit Laserstrahlteilern • Pfadintegrale, Propagatoren und Phasenverschiebungsberechnung • Beschleunigungs- und Rotationserfassung mit Atominterferometrie • Materiewellenbeugung in den verschiedenen Regimen • Interferometrie Bose-Einstein-Kondensate • Optische Gitter und großer Impulstransfer • Atominterferometrie mit verlängerter Zeit (Fontänen, Mikrogravitation, Weltraummissionen) • Fundamentale Tests und Nachweis von Gravitationswellen mit Atomsensoren • Atominterferometrie mit nichtklassischen Materiezuständen (gequetschte Quellen) 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung: „Optical Clocks“, 2 SWS Vorlesung: „Matter-Waveinterferometry“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder schriftliche Prüfung 90-120 min	
6	Literatur	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Piet O. Schmidt, Prof. Dr. Ernst Maria Rasel	

Nichtlineare Optik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 60 h
Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden sind in der Lage Modifizierungen der optischen Eigenschaften eines Materials unter Einwirkung von Licht zu verstehen und dahingehend die optischen Eigenschaften eines Materials selbstständig zu modifizieren. Frequenzkonvertierte Prozesse zu untersuchen und deren Anwendung in Wissenschaft und Technik nachzuvollziehen zu können ist Ziel des Moduls.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Nichtlineare optische Suszeptibilität • Kristalloptik, Tensoroptik • Wellengleichung mit nichtlinearen Quelltermen • Frequenzverdopplung, Summen-, Differenzfrequenzerzeugung • Optisch parametrischer Verstärker, Oszillator • Phasenanpassungs-Schemata, Quasiphasenanpassung • Elektro-optischer Effekt • Elektro-akustischer Modulator • Frequenzverdreifachung, Kerr-Effekt, Selbstphasenmodulation, Selbstfokussierung • Raman-, Brillouinstreuung, Vierwellenmischung • Nichtlineare Propagation, Solitonen 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Nichtlineare Optik“, 3 SWS Übung „Nichtlineare Optik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Atom- und Molekülphysik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Agrawal, Nonlinear Fiber optics, Academic Press ☒ Boyd, Nonlinear Optics, Academic Press ☒ Shen, Nonlinear Optics, Wiley-Interscience ☒ Dmitriev, Handbook of nonlinear crystals, Springer ☒ Originalliteratur 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Uwe Morgner	

Photonik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 60 h
Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die wesentlichen Grundlagen der modernen Photonik und können dieses Wissen für die Beurteilung, den Entwurf und die Simulation photonischer Systeme anwenden.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Wellen in Materie • Dielektrische Wellenleiter (planar, Glasfaser), integrierte Wellenleiter • Photonische Kristalle • Wellenleiter – Moden • Nichtlineare Faseroptik • Faseroptische Komponenten (Zirkulatoren, AWG, Fiber-Bragg-Gratings, Modulatoren) • Faserlaser • Laserdioden, Photodetektoren • Optische Nachrichtentechnik (RZ, NRZ, WDM/TDM) • Netzwerke 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Photonik“, 2 SWS Übung „Photonik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Kohärente Optik, Nichtlineare Optik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Reider, Photonik, Springer ☒ Menzel, Photonik, Springer ☒ Agrawal, Nonlinear Fiber optics, Academic Press ☒ Originalliteratur 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Boris Chichkov	

Atomoptik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Vorlesung gibt einen Einblick in die moderne experimentelle Physik mit kalten atomaren Gasen. Dieses Gebiet hat sich in den vergangenen Jahren zu einem der aktivsten Gebiete der Atom- und Molekülphysik entwickelt. Ziel ist es, dass die Studierenden die Methoden der Laserkühlung und der Speicherung von Atomen in Fallen beherrschen, die spektroskopische Präzisionsmessungen und insbesondere die Entwicklung sehr genauer Atomuhren ermöglichen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Atom-Licht Wechselwirkung • Strahlungsdruckkräfte • Atom- und Ionenfallen • Kühlung durch Evaporation • Bose-Einstein-Kondensation • Ultrakalte Fermi-Gase • Experimente mit ultrakalten und entarteten Quantengasen • Atome in optischen periodischen Gittern • Atominterferometrie und Frequenzstandards 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Atomoptik“, 2 SWS Übung „Atomoptik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Atom- und Molekülphysik, Quantenoptik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ B. Bransden, C. Joachain, Physics of Atoms and Molecules, Longman 1983 ☒ R. Loudon, The Quantum Theory of Light, OUP, 1973 ☒ Aktuelle Publikationen 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Silke Ospelkaus-Schwarzer	

Nichtklassische Atomoptik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden erwerben Kenntnisse zur Erzeugung eines Bose-Einstein-Kondensats. Ihre Kenntnisse können Sie in der Entwicklung hoch präziser Sensoren einsetzen, aber auch um fundamentale physikalische Effekte zu untersuchen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Erzeugung ultrakalter Atome • Viel-Teilchen-Quantensysteme • Beschreibung und Visualisierung von atomaren Vielteilchenzuständen • Verschränkung • Interferometrie und fundamentale Limits • Überblick über aktuelle experimentelle Realisierungen • Zentrale Forschungsergebnisse der letzten Jahre 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Nichtklassische Atomoptik“, 2 SWS Übung „Nichtklassische Atomoptik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Atom- und Molekülphysik, Quantenoptik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur 90-120 min	
6	Literatur <input checked="" type="checkbox"/> C. C. Gerry und P.L. Knight, Introductory Quantum Optics, University Press, Cambridge (2005). <input checked="" type="checkbox"/> Pezzè et al., Quantum metrology with nonclassical states of atomic ensembles, Rev. Mod. Phys. 90, 035005 (2018). <input checked="" type="checkbox"/> Aktuelle Publikationen	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher apl. Prof. Dr. Carsten Klempt	

Experimental Methods in Atomic Physics		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind Studierende in der Lage, Experimentelle Methoden der Atomphysik und Quantensensorik 1. in Originalliteratur zu erkennen, 2. diese auf theoretischer Basis zu beschreiben, 3. sowie deren praktische Umsetzung in aktuellen Experimenten zu erfassen bzw. selbst zu planen.	
2	Inhalte des Moduls Ziel der Vorlesung ist es, einen Überblick über die Vielzahl von experimentellen Methoden in der modernen Atomphysik zu gewinnen. Dabei werden die benötigten theoretischen Grundlagen in der Vorlesung eingeführt. In den Übungsgruppen werden die behandelten Themen anhand historischer und aktueller Publikationen vertieft, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf dem Verständnis der experimentellen Techniken liegt. Die behandelten Themen umfassen Grundlagen der Atom-Licht-Wechselwirkung, Laserkühlmethoden und Techniken zur Erzeugung von Bose-Einstein-Kondensaten. Die Vorlesung behandelt anschließend Methoden zur Umsetzung von Quantensensoren, insbesondere in Hinblick auf Rauscheinflüsse und systematische Effekte. Durch angegliederte Laborführungen im Institut für Quantenoptik bekommen die Studierenden einen direkten Einblick in typische experimentelle Aufbauten. Die Vorlesung dient somit auch als inhaltliche Vorbereitung für eine anschließende Masterarbeit im Bereich der experimentellen Atomphysik.	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Experimental Methods in Atomic Physics“, 2 SWS Übung „Experimental Methods in Atomic Physics“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Atom- und Molekülphysik, Kohärente Optik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Teilnahme an Übung/Präsentation/Lösung der Übungszettel	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min	
6	Literatur ☒ T. Mayer-Kuckuck, Atomphysik, Teubner, 1994 ☒ B. Bransden, C. Joachain, Physics of Atoms and Molecules, Longman 1983 ☒ H. Haken, H. Wolf, Atom- und Quantenphysik sowie Molekülphysik und Quantenchemie, Springer ☒ H. Metcalf, P. van der Straaten, Laser Cooling and Trapping, Springer 1999 ☒ F. Riehle, Frequency Standards, Wiley 2004	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Ernst Maria Rasel	

Computational Photonics		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 6	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150h		Davon Präsenzzeit: 56 h
Davon Selbststudium: 94 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Das Modul vermittelt grundlegende Fertigkeiten der Software-Entwicklung für Probleme der computerorientierten Physik und vertieft spezifische Techniken zur numerischen Lösung von Problemen der Optik. Zusätzlich dient es dem Überblick über allgemeine Aspekte der modernen Optik. Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind Studierende in der Lage <ul style="list-style-type: none"> • Probleme in der modernen und nichtlinearen Optik zu verstehen • Prinzipien der numerischen Modellierung und Implementierung anzuwenden • Methoden der Softwareentwicklung umzusetzen • Fragestellungen der Computerorientierten Photonik selbständig zu lösen 	
2	Inhalte des Moduls Die Vorlesung ist in zwei parallellaufende Tracks gegliedert: Grundlagen der Photonik und Numerische Methoden. Der Kurs enthält eine praktische Übung, die den Studenten grundlegende Erfahrungen mit Computersimulationen vermittelt. Fachliche Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> • Wechselwirkung zwischen Licht und Materie (chromatische und geometrische Dispersion, Suszeptibilität zweiter und dritter Ordnung, Raman-Streuung, Superkontinuum-Erzeugung, Multiphotonen- und Tunnel-Ionisation, harmonische Strahlung niedriger Ordnung) • Lichttransport in trüben Medien • Photoakustik • Matrix-Optik • Impulsausbreitungsgleichungen • Atome in starken optischen Feldern (Schrödingergleichung für Atome, Higher-Harmonic Generation, Brunel/THz-Strahlung, Attosekundenoptik) • Computermodellierungsmethoden in der Elektromagnetik (Zeitbereichslöser, Frequenzbereichsmethoden, Finite-Elemente-Methoden) • Monte-Carlo-Verfahren • Spektrale und pseudospektrale Methoden • Runge-Kutta- und Operator-Splitting-Verfahren • Paralleles Rechnen (openMP, openMPI) 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Computational Photonics“, 2 SWS Übung „Computational Photonics“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Erfahrung mit dem Computer und Grundlagen der Programmierung.	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Teilnahme an der Vorlesung und an den praktischen Übungen	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Die Note ergibt sich aus 40% der Bewertung der Leistungen in den Computerübungen und 60% der Klausurnote.	
6	Literatur ☒ S. Obayya, Computational Photonics, John Wiley & Sons, 2011 ☒ oachain, Kylstra, Potvliege: Atoms in Intense Laser fields ☒ Lux/Koblinger: Monte Carlo Particle Transport Methods: Neutron and Photon Calculations	
7	Weitere Angaben ---	

8	Organisationseinheit Institut für Quantenoptik (IQO), LUH
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher apl. Prof. Dr. Ayhan Demircan

Nichtklassisches Licht und Nichtklassische Laserinterferometrie		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester und 2. Semester	Moduldauer 2 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden erwerben über die Quantenoptik I hinausgehende Kompetenzen zum Thema Nichtklassisches Licht, insbesondere gequetschte Zustände, und Nichtklassische Laserinterferometrie, die Messungen mit Genauigkeiten unterhalb des Quantenlimits der Interferometrie, u.a. in der interferometrischen Gravitationswellendetektion, umfassen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Klassische und nichtklassische Zustände des Licht • Kriterien für „Nichtklassizität“ • Detektion und Erzeugung von Fock-Zuständen • Detektion und Erzeugung von gequetschtem Licht • Quantenzustandstomographie • EPR-verschränktes (zwei-Moden gequetschtes) Licht • Optischer Test der Nichtlokalität • Schrotrauschen und Strahlungsdruckrauschen im Interferometer • Quadraturoperatoren und „Input-output“-Relationen von Interferometern • Das Standard Quantenlimit der Positionsmessung • „Quantum-Nondemolition“ Techniken • Interferometer mit gequetschtem Licht und anderen nichtklassischen Zuständen des Lichts • Opto-mechanische Kopplung und optische Federn • Quantenzustände mechanischer Oszillatoren • Kühlung mechanischer Oszillatoren in ihren quantenmechanischen Grundzustand • Verschränkung von Spiegeln und Licht 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung: „Nichtklassisches Licht“, 2 SWS Vorlesung: „Nichtklassische Laserinterferometrie“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Kohärente Optik, Nichtlineare Optik, Nichtklassisches Licht, Quantenoptik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Teilnahme an der Vorlesung; Hausübungen	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> keine	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ C.C. Gerry und P.L. Knight, Introductory Quantum Optics, University Press, Cambridge (2005). ☒ H.-A. Bachor und T.C. Ralph, A guide to experiments in quantum optics, Wiley, 2nd edition (2003). ☒ P. Saulson, Fundamentals of Interferometric GW detectors, World Scientific Pub Co Inc ☒ Originalliteratur (wissenschaftliche Veröffentlichungen, Primärliteratur) 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Gravitationsphysik (IGP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Michèle Heurs	

Optische Experimente und ihre Kontrolle		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester und 2. Semester	Moduldauer 2 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden erwerben Kompetenzen, die für die Arbeit in einem (quanten-)optischen Labor notwendig sind. Die Kompetenzen werden um entsprechende theoretische Grundlagen und experimentelles Wissen erweitert und erfassen auch nützliche technische Inhalte.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Laser und die Ursache von Leistungs-, Frequenz- und Strahlfluktuationen • Grundlagen der Regelungstechnik • Längenkontrolle von Interferometern und optischen Resonatoren • Detektion von Frequenzfluktuationen und deren Unterdrückung • Detektion von Leistungsfluktuationen und deren Unterdrückung • Strahlfluktuationen • Elektronik-Grundlagen: Kirchhoffsche Regeln, Impedanz, Phasendiagramme • Operationsverstärker: Funktionsweise und Grundsaltungen • Schwingkreise und Filter (aktiv / passiv) • Spectrum Analyser und Network Analyser • Messung und Interpretation von Transferfunktionen • Grundlagen der Regelungstechnik • Photodetektion • Sensoren und Aktuatoren in optischen Experimenten • Rauschmessungen 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung: „Laserstabilisierung und Kontrolle optischer Experimente“, 2 SWS Vorlesung: „Elektronische Metrologie im Optiklabor“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Kohärente Optik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Teilnahme an der Vorlesung; Hausübungen	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> keine	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Horowitz & Hill, The Art of Electronics, Cambridge University Press ☒ Abramovici & Chapsky, Feedback Control Systems, Kluwer Academic Publishers ☒ Yariv, Quantum Electronics, Wiley ☒ Siegman, Lasers, University Science Books ☒ Originalliteratur (wissenschaftliche Veröffentlichungen, Primärliteratur) 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Gravitationsphysik (IGP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Michèle Heurs, apl. Prof. Dr. Benno Willke	

Computerphysik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 6	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 180 h		Davon Präsenzzeit: 60 h
Davon Selbststudium: 120 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden sind in der Lage grundlegende Simulationen physikalischer Systeme, Visualisierung von Daten und eine statistische Datenanalyse zu programmieren.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Grundlegende numerische Methoden (Differentiation, Integration, Interpolation, Lösung einer nicht-linearen Gleichung, Systeme linearer algebraischer Gleichungen, Monte Carlo-Methoden) • Numerische Lösung gebräuchlicher Probleme der Physik (Differentialgleichungen, Eigenwertprobleme, Optimierung, Integration und Summen vieler Variablen) • Anwendungen aus der Mechanik, Elektrodynamik, Thermodynamik und Quantenmechanik • Datenanalyse (statistische Analyse, Ausgleichsrechnung, Extrapolation, spektrale Analyse) • Visualisierung (graphische Darstellung von Daten) • Einführung in die Simulation physikalischer Systeme (dynamische Systeme, einfache Molekulardynamik) • Computer-Algebra 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Computerphysik“, 2 SWS Übung „Computerphysik“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Erfahrung mit dem Computer und Grundlagen der Programmierung, Analysis I+II, Theoretische Elektrodynamik, Analytische Mechanik, Spezielle Relativitätstheorie, Einführung in die Quantentheorie	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Praktische Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min und Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Wolfgang Kinzel und Georg Reents, „Physik per Computer“, Spektrum Akademischer Verlag ☒ S.E. Koonin and D.C. Meredith, „Computational Physics“, Addison-Wesley ☒ W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling, B.P. Flannery, „Numerical Recipes in C++“, Cambridge University Press ☒ J.M. Thijssen, „Computational Physics“, Cambridge University Press ☒ Tao Pang, „An Introduction to Computational Physics“, Cambridge University Press ☒ S. Brandt, „Datenanalyse“, Spektrum Akademischer Verlag ☒ V. Blobel und E. Lohrmann, „Statistische und numerische Methoden der Datenanalyse“, Teubner Verlag ☒ R.H. Landau, M.J. Paez, and C.C. Bordeianu, Computational Physics, Wiley-VCH, 2007 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Theoretische Physik (ITP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Eric Jeckelmann	

Fortgeschrittene Computerphysik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 8	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 240 h		Davon Präsenzzeit: 90 h
Davon Selbststudium: 150 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden sind in der Lage komplexe Simulationen physikalischer Systeme, Visualisierung von Daten und eine statistische Datenanalyse zu programmieren – unter anderem unter zu Hilfenahme maschinellen Lernens.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Exakte Diagonalisierung • Monte Carlo Simulationen • Numerische Renormierungsgruppe • Dichtefunktionaltheorie • Moleküldynamik • Quantendynamik • Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen • Quantencomputer 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Fortgeschrittene Computerphysik“, 4 SWS Übung „Fortgeschrittene Computerphysik“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Einführung in die Quantentheorie, Statistische Physik, Computerphysik"	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Praktische Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 45 min und Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ J.M. Thijssen, Computational Physics (Cambridge University Press, 2007) ☒ S.E. Koonin and D.C Meredith, Computational Physics, Addison-Wesley, 1990. ☒ T. Pang, Computational Physics, Cambridge University Press, 2006 ☒ H. Gould, J. Tobochnik, and W. Christian, Computer Simulation Methods, Pearson Education, 2007 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Theoretische Physik (ITP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher PD Dr. Hendrik Weimer	

Quantendynamik und Theoretische Quantenoptik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe / SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls M. Sc. Physik		
1	Qualifikationsziele Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage ein Feld zu quantisieren den Quantenzustand eines Feldes zu charakterisieren die Ursprünge von Dissipation und Dekohärenz zu verstehen die zweite Quantisierung zu verstehen zu wissen, wie man Bewegungsgleichungen für ein einfaches System der Licht-Materie-Wechselwirkung herleitet und löst	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Feldquantisierung, Casimir-Effekt • Fockzustände, thermische Zustände, kohärente Zustände • Phasenraumverteilungen (P-Funktion, Husimi-Funktion, Wigner-Funktion) • Nichtklassisches Licht • Atom-Feld-Wechselwirkung (Störungstheorie, Rabi-Oszillationen, Jaynes-Cummings-Modell, Floquet-Theorie, Fluoreszenz, spontane Emission) • Stochastische Methoden (Mastergleichung, Fokker-Planck-Gleichung), parametrische Verstärkung • Atomoptik, Cavity-QED, starke Laserfelder 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Theoretische Quantenoptik“, 3 SWS Seminar „Quantendynamik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Theoretische Elektrodynamik, Einführung in die Quantentheorie	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Praktische Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min und Klausur 90-120 min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ C. Gerry und P. Knight, Introductory Quantum Optics, Cambridge University Press ☒ S. Barnett, Methods in theoretical quantum optics, Clarendon Press ☒ D. Walls und G. Milburn, Quantum Optics, Springer ☒ H.-J. Kull, Laserphysik, Oldenbourg ☒ W. Schleich, Quantum optics in phase space, Wiley-VCH ☒ C. Joachain, N. Kylstra und R. Potvliege, Atoms in intense laser fields, Cambridge University Press ☒ R. Loudon, The Quantum Theory of Light, Oxford Science Publications 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Theoretische Physik (ITP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Luis Santos	

Quantencomputing		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 60 h Davon Selbststudium: 90 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele Nach erfolgreichem Abschluss des Studiengangs sind Studierende in der Lage, <ol style="list-style-type: none"> 1) Die DiVincenzo Kriterien zu diskutieren 2) Ein- zwei- und 3-Qubit-Gatter zu benennen, in Wahrheitstabellen darzustellen und als „quantum circuits“ darzustellen 3) Quantenalgorithmen in elementare Gatter umzusetzen 4) Elementare Quantenalgorithmen zu beschreiben (bspw. Grover, Quantenfouriertransformation) 5) Die Formulierung von Algorithmen in Qiskit vorzunehmen 6) Einen Überblick über Komplexitätsklassen von Algorithmen zu geben 7) Die Abgrenzung zwischen „circuit“ basierten Ansätzen und beispielsweise Annealern zu formulieren. 8) Elementare Quantenfehlerkorrekturalgorithmen zu erfassen 9) Die Fehleranalyse und das Benchmarking von Quantengattern zu diskutieren 10) Quantenrechnen mit NISQ Devices zu diskutieren 11) An geeigneten Beispielen den Übergang von einem quantenphysikalischen Problem zu einer Simulation auf einem Quantencomputer nachzuvollziehen 12) Die Quanten-CCD Architektur für den Ionenfallen-Quantencomputer zu diskutieren 13) Ionenfallen-Grundlagen zu diskutieren 14) Licht-Materie-Wechselwirkung im Zwei-Niveau-System (Schrödinger-Gleichung und optische Bloch-Gleichungen) zu diskutieren 15) Die Modenstruktur von Coulomb-Kristallen und die Behandlung der quantisierten Bewegung mit Hilfe des Leiteroperator-Formalismus zu erfassen 16) Die Implementierung von Ein- und Zwei-Qubit-Gattern zu beschreiben 17) Aktuelle Demonstrationsexperimente zu Quantenalgorithmen auf Ionenfallen-Quantencomputern zu erfassen (Originalliteratur) 18) Die Grundlagen anderer Architekturen (insbes. Supraleiter) zu beschreiben 	
2	Inhalte des Moduls Grundlagen der Quanteninformationsverarbeitung, von Quantenalgorithmen und der Programmierung von Quantencomputern. Implementierung von Quantencomputern mit gespeicherten Ionen: Speicherkonzept, Gatterimplementierung, Skalierung, aktuelle Originalliteratur. Grundlagen anderer Quantencomputer-Plattformen.	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Quantencomputing“, 3 SWS Übung zu „Quantencomputing“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Quantenoptik, theoretische Quantenoptik oder Atom- und Molekülphysik	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> 50% der Punkte in den Übungen, Mitarbeit in der Übungsgruppe	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Klausur 90-120 min	
6	Literatur M.A. Nielsen and I. Chuang, "Quantum computation and quantum information", Cambridge University Press J. Preskill, lecture notes "Quantum Computation", http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/ P.K. Ghosh, "Ion Traps", Oxford University Press	

	<p>D. J. Wineland et al, "Experimental Issues in Coherent Quantum-State Manipulation of Trapped Atomic Ions", J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. 103, 259 (1998)</p> <p>D. Leibfried et al., "Quantum Dynamics of Single Trapped Ions", Rev. Mod. Phys. 75, 281 (2003)</p> <p>R. Blatt and D. Wineland, "Entangled States of Trapped Atomic Ions", Nature 453, 1008 (2008)</p> <p>D.J. Wineland, Nobel Lecture: Superposition, Entanglement, and Raising Schrödinger's Cat, Rev. Mod. Phys. 85, 1103 (2013)</p> <p>C.D. Bruzewicz et al., "Trapped-Ion Quantum Computing: Progress and Challenges", Applied Physics Reviews 6, 021314 (2019)</p>
7	<p>Weitere Angaben</p> <p>---</p>
8	<p>Organisationseinheit</p> <p>Institut für Quantenoptik (IQO), Institut für theoretische Physik (ITP), LUH</p>
9	<p>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</p> <p>Prof. Dr. C. Ospelkaus, Prof. Dr. T. Osborne, Prof. Dr. K. Hammerer, Prof. Dr. L. Santos, Priv.-Doz. Dr. H. Weimer</p>

Single Photon Sources – from basics to applications		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots Ab WiSe 2023/24 jedes WiSe	Sprache Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 42 h
Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
1	Qualifikationsziele The introduction of the photon by Einstein, together with the heroic endeavors of Bohr, Heisenberg, Schrödinger and many others, gave birth to quantum mechanics in the beginning of the last century. Though initially driven by curiosity, the introduced concepts have fueled many revolutionary applications, for example, quantum networking and quantum information processing. In this lecture you will learn the fundamentals of quantum networking and information processing with single photons, ranging from the single photon statistics up to the modern applications of single photon sources. A particular emphasis is given to the discussions of solid-state single photon sources, such as quantum dots, color centers, and organic molecules. Their history, current progress and challenges are discussed. Together, we will discuss how the efficient single photon sources can reshape the future of quantum communication, computation and metrology.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Quantum optics in a nutshell – a review • Photon statistics – basic concepts • Generation of single photons – current progress and challenges • Solid-state single photon emitters • Applications of single photon sources – quantum communication, computation and metrology 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Single Photon Sources“, 3 SWS Übung „Single Photon Sources“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Prior knowledge in quantum mechanics	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgabe, Vorträge	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Schriftliche 9-120 min oder mündliche 30 min Prüfung	
6	Literatur I Vorlesungsnotizen des Dozenten; Primärliteratur Artur Ekert – “Introduction to Quantum Information” Scott Aaronson – “Introduction to Quantum Information Science” Mark Fox – “Quantum optics: An introduction”	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Institut für Festkörperphysik (FKP), LUH	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Fei Ding und Prof. Dr. Ilja Gerhardt	

Bereich Engineering (TUBS)

Optoelektronik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt:150 h Davon Präsenzzeit: 42 h Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls kennen die Studierenden die Funktionsweise und die Dimensionierungsverfahren für Komponenten der Integrierten Optik, insbesondere Wellenleiter. Sie sind in der Lage, diese Kenntnisse in der Analyse optoelektronischer Systeme hinsichtlich der verwendeten Bauelemente und Wellenleiter anzuwenden und die diesbezüglichen System- und Bauelement-Charakteristiken zu beurteilen und zu optimieren.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum und mit Führung • Brechung, Reflexion, Totalreflexion an dielektrischen Grenzflächen • Wellenleitung in Film- und Streifenwellenleitern, Verlustmechanismen • Moleküldynamik • Moden und ihre Berechnung • Feldverteilungen für Stufen- und Gradientenprofil • Analogien zur Quantenmechanik • Periodische Strukturen zur verteilten Rückkopplung: DFB, DBR • Elektrooptische Effekte, Richtkoppler 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Optoelektronik“, 2 SWS Übung „Optoelektronik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten	
6	Literatur ☒ K. J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer, ISBN 3540546553	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kowalsky	

Advanced Electronic Devices		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 42 h
Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls Advanced Electronic Devices verfügen die Studierenden über - ein grundlegendes Verständnis der wichtigsten elektronischen und optoelektronischen Bauelemente - weitergehende Kenntnisse zu nicht-idealen Effekten sowie speziellen, modernen Bauelementen Sie sind in der Lage, diese Kenntnisse in der Analyse (opto)elektronischer Systeme hinsichtlich der verwendeten Bauelemente und ihrer besonderen (nichtlinearen) Eigenschaften anzuwenden und die diesbezüglichen System- und Bauelement-Charakteristiken zu beurteilen und zu optimieren.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Der nicht-ideale p-n-Übergang (Rekombination und Generation, hohe Injektion, endlich lange Bahngebiete) • Transistoren (Bipolar, Sperrschicht-FET, MOSFET, CMOS, Skalierung / Kurzkanal-Effekte, HEMT, SiGe) • Optoelektronische Bauelemente (LEDs, Halbleiterlaser, Photodioden, Solarzellen) • Spin- und Magnetoelektronik • Micro- und Nanoelectromechanical Systems M/NEMS • Bio- und Nanoelektronische Systeme (Halbleiter-Biosensoren, Molekulare Elektronik) 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Advanced Electronic Devices“, 2 SWS Übung „Advanced Electronic Devices“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> mündliche Prüfung 30 Minuten oder Klausur 90 Minuten	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ A. Schlachetzki, Halbleiter-Elektronik, Teubner (1990) ISBN: 3-519-03070-5 ☒ S. M. Sze, K.K. Ng, Physics of Semiconductor Devices, 3rd Ed. (2007), Wiley, ISBN-13: 978-0470068328 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Halbleitertechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher apl. Prof. Dr.-Ing. Hergo-Heinrich Wehmann	

Advanced Quantum Technologies for Engineers		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 42 h Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Knowledge in the basic concepts of quantum physics, basic knowledge in quantum optics, quantum electronics, optoelectronics and laser physics, quantum statistics, spinelectronics as a basis for future applications of quantum technologies.	
2	Inhalte des Moduls Concepts of quantum physics have been developed at the beginning of 20. century, and developed into a comprehensive foundation of physics. Quantum technologies are already used in applications today, like e.g. semiconductor devices, laser devices or satellite navigation. The quantum principles of the first generation of applications are based on the concepts of coherence. Potential technologies of the second generation of quantum technologies will extend towards the manipulation of single quantum objects and will use many particle systems and entanglement. In a joint statement on the importance and commercialization of quantum technologies, the German Academies of Sciences urgently suggest to merge quantum technologies and engineering education. This is the goal of the lecture Advanced quantum technologies for engineers. It lays out the basis for an understanding of quantum effects, dealing with the following topics: quantum physics as scientific theory, principles of quantum theory, quantum technologies of 1. and 2. generation. Further information can be found in Perspectives of quantum technologies [gemeinsame Stellungnahme von Leopoldina, acatech und Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, ISBN 978-3-80473343-5, online available]	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Advanced Quantum Technologies for Engineers“, 2 SWS Übung „Advanced Quantum Technologies for Engineers“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> written exam, 120 minutes or oral examination 30 minutes	
6	Literatur ---	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Halbleitertechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Waag	

Aufbau und Verbindungstechnik in der Elektronik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 42 h Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls Aufbau- und Verbindungstechnik in der Elektronik verfügen die Studierenden über - ein grundlegendes Verständnis der wichtigsten Verfahren zum Aufbau und zur Verbindungstechnik von elektronischen Bauelementen - die Fähigkeit zur Auswahl geeigneter Verfahren für die Aufbau und Verbindungstechnik bei der Herstellung von Halbleitermodulen - eingehende Kenntnisse und praktische Erfahrungen bei Einsatz, Analyse und Bewertung von Verfahren der Aufbau und Verbindungstechnik	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Offene Verdrahtung, Bread Board, Printed Circuit Board • Dickschichttechnik, Substrate, Siebdruck und Pasten, Dünnschichttechnik, Photolithographie • Surface Mount Technology, Bauelemente, Gehäuseformen, moderne Entwicklungen (TAB, BGA, Flip-Chip, CSP, MCM) • Leistungsmodule, besondere Anforderungen • Kühlung, Grundlagen und Problemstellung, Luftkühlung, Flüssigkeitskühlung • Thermomechanische Spannungen und Zuverlässigkeit, Grundlagen, Beispiele • Löten, Kleben, Drahtbonden, Direct Copper Bonding, Niedertemperatur-Verbindungstechnik 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Aufbau und Verbindungstechnik in der Elektronik“, 2 SWS Übung „Aufbau und Verbindungstechnik in der Elektronik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> mündliche Prüfung 30 Minuten	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ W. Scheel (Hrsg.): Baugruppenttechnologie der Elektronik - Montage (Verlag Technik, Berlin; Eugen G. Lenze Verlag, Saulgau, 1997) ISBN: 3-341-01100-5 ☒ H.-J. Hanke (Hrsg.): Baugruppenttechnologie der Elektronik Leiterplatten (Verlag Technik, Berlin, Saulgau, 1994) ISBN: 3-341-01097-1 ☒ H.-J. Hanke (Hrsg.): Baugruppenttechnologie der Elektronik Hybridträger (Verlag Technik, Berlin, Saulgau, 1994) ISBN: 3-341-01099-8 ☒ M. Wutz: Wärmeabfuhr in der Elektronik (Vieweg, Wiesbaden, 1991) ISBN: 3-528-06392-0 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Halbleitertechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher apl. Prof. Dr. rer. nat. Erwin Peiner	

Grundlagen der Nanooptik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 42 h
Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Die Teilnehmenden können grundlegende Phänomene der Lichtpropagation (Reflexion, Streuung, Absorption, Transmission) an Grenzflächen und in homogenen Medien qualitativ und quantitativ beschreiben. Die Teilnehmenden können wichtige Grundelemente der Nanooptik, wie z.B. Wellenleiter, optische Gitter, Photonische Kristalle oder Metamaterialien, benennen, qualitativ ihre Eigenschaften diskutieren und Anwendungsgebiete nennen. Die Teilnehmenden sind in der Lage, in komplexen optischen Systemen die Grundelemente zu identifizieren und ihre jeweilige Funktion zu beschreiben. Die Teilnehmenden können wichtige Prozesse der Mikro- und Nanostrukturierung benennen und ihre Funktionsweise erläutern. Die Teilnehmenden können die Wellengleichung in einfachen dielektrischen, metallischen und hybriden nanooptischen Systemen analytisch und semianalytisch lösen und die Lösungen interpretieren. Die Teilnehmenden können optische Resonanzphänomene in nanooptischen Systemen klassifizieren und ihre wesentlichen Eigenschaften benennen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Grundkonzepte (Photonische Kristalle, Plasmonik) • Herstellung und Charakterisierung (Metrologie) von Nanostrukturen • Leistungsmodule, besondere Anforderungen • Photonische Nanomaterialien / Metamaterialien / Metaoberflächen • Optische Nanoemitter und Nanoantennen • Aktive photonische Elemente 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Grundlagen der Nanooptik“, 2 SWS Übung „Grundlagen der Nanooptik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Prüfung 120 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Novotny, Hecht: Principles of nano-optics, Cambridge University Press 2016 ☒ Prasad: Nanophotonics, John Wiley & Sons 2004 ☒ Jahns, Helfert: Introduction to Micro- and Nanooptics, Wiley VCH 2012 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Angewandte Physik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Stefanie Kroker	

Integrierte Schaltungen		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 42 h Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, integrierten Schaltungen, deren Aufbau und Arbeitsweise zu verstehen und einfache integrierte Schaltungen selbst zu entwerfen. Weiterer Schwerpunkt sind die Methoden der Nanotechnologie. Das Modul bietet einen Überblick über die Arbeitsweise, das Design und die Technologie integrierter elektronischer Schaltungen der Mikroelektronik.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Einführung • Digitale Grundschaltungen • MOS und CMOS • Silizium-Wafer Herstellung • MOSFET Prozesstechnologie • Nanolithographie • Ätztechniken und Oxidation • Entwurfsautomatisierung, Design Regeln und Montagetechniken • Back End Technologien • Moderne Entwicklungen: Speichertechnologien 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Integrierte Schaltungen“, 2 SWS Übung „Integrierte Schaltungen“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Vortrag / Projektarbeit	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> mündliche Prüfung 20 Minuten	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ J.M.Rabaey, A.Chandrakasan, B. Nikolic, Digital Integrated Circuits Prentice Hall Electronics and VLSI Series, 2002 ISBN: 8120322576 ☒ A. Schlachetzki, Integrierte Schaltungen, Teubner, 1978, (als Kopie im IHT) ISBN: 3-519-03070-5 ☒ D. Widmann, H. Mader, H. Friedrich, Technologie Hochintegrierte Schaltungen, Springer, 1996 ISBN: 3540593578 ☒ >W. Prost, Technologie der III/V Halbleiter, Springer, 1997 ISBN: 3540628045 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für CMOS Design, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Vadim Issakov	

Nanoelektronik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 56 h Davon Selbststudium: 94 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls "Nanoelektronik" verfügen die Studierenden über eine Übersicht über die Grundlagen der Quantenmechanik und ihre Anwendung auf metallische, magnetische und supraleitende Bauelemente mit Nanometerdimensionen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Quantenmechanik Wellenfunktion, Potentiale, Wechselwirkung • Magnetismus • Supraleitung • Herstellungsverfahren • Josephson-Kontakte • SET-Bauelemente • Datenspeicher • THz-Transistoren • Quantum-Computing 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Nanoelektronik“, 3 SWS Übung „Nanoelektronik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> mündliche Prüfung 30 Minuten (schriftliche Klausur 120 Minuten nur bei sehr großen Teilnehmerzahlen)	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ R. Waser, Nanoelectronics and Information Technology, Wiley-VCH, 2003, ISBN 978-3527403639 ☒ M. Köhler, Nanotechnologie, Wiley-VCH, 2007, ISBN 978-3527318711 ☒ Jasprit Singh, Modern Physics for Engineers, Wiley, 1999, ISBN 978-0471330448 ☒ N. Ashcroft, N. Mermin, Solid State Physics, Cengage Learning Services, 1976, ISBN 978-0030839931 ☒ S. Flügge, Rechenmethoden der Quantentheorie, Springer Verlag 1993, ISBN 978-3540567769 ☒ W. Nolting, Quantenmechanik, Band 5 aus Grundkurs: Theoretische Physik, Springer-Verlag, 2007, ISBN 978-3540688686 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof.Dr.rer.nat. Meinhard Schilling	

Numerische Analyse von Strahlungsphänomenen		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 42 h Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, zu Problemstellungen im Bereich der elektromagnetischen Strahlung geeignete numerische Lösungsverfahren anzugeben. Die den Verfahren zugrundeliegenden Ansätze sind verstanden, ebenso die hieraus resultierenden Grenzen in der Anwendbarkeit und mögliche Fehlerquellen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Quantitative Beschreibung von Strahlungsphänomenen mittels spezieller numerischer Berechnungsverfahren • Theoretische Konzepte etablierter Methoden (FE, FD, MoM) und neuere Ansätze (u.a. Wavelets) • Kriterien der Bandbreite und Komplexität der Randbedingungen • Eignung und Anwendungsgrenzen der Verfahren • Praktische Anwendungsbeispiele aus der EMV (Absorption in technischen Materialien und biologischem Gewebe, Schirmung) und der Antennenentwicklung 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Numerische Analyse von Strahlungsphänomenen“, 2 SWS Übung „Numerische Analyse von Strahlungsphänomenen“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Klausur 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten	
6	Literatur ☒ Arnulf Kost, Numerische Methoden in der Berechnung elektromagnetischer Felder, Springer-Verlag, Berlin, 1994, ISBN 3-540-55005-4 ☒ Matthew N.O. Sadiku, Numerical Techniques in Electromagnetics, CRC Press, Boca Raton, 2001, ISBN 0-8493-1395-3	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Elektromagnetische Verträglichkeit, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. rer. nat. Achim Enders	

Optische Nachrichtentechnik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 6	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 180 h		Davon Präsenzzeit: 56 h
Davon Selbststudium: 124 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls verstehen die Studierenden die Funktionsweise und kennen die Leistungsmerkmale unterschiedlicher Komponenten optischer Übertragungsstrecken. Sie können faseroptische Übertragungsstrecken entwerfen und dimensionieren.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Halbleitermaterialien • Emission und Absorption • Heterostrukturen, Quantenfilme • Laserdioden • Optische Verstärker • Optoelektronische Modulatoren • Photodetektoren • Systeme der optischen Nachrichtentechnik 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Optische Nachrichtentechnik“, 2 SWS Übung „Optische Nachrichtentechnik“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Klausur 120 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten	
6	Literatur ☒ S. L. Chuang, Physics of Photonic Devices, Wiley & Sons, ISBN 9780470293195	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Thomas Schneider	

THz-Systemtechnik / THz-Photonik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 56 h Davon Selbststudium: 94 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls kennen die Studierenden Lösungsansätze, um Informationen mit THz-Trägern und/oder THz-Bandbreiten zu verarbeiten und über drahtlose Kanäle und optische Fasern zu übertragen. Gleichzeitig können die Studierenden die erforderlichen THz-Systeme für eine Signalübertragung mit THz-Träger und/oder THz-Bandbreiten und die Spektroskopie entwerfen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Komponenten zur Erzeugung und Detektion von THz-Wellen • THz-Spektroskopie • Wechselwirkung von THz-Strahlung mit Materie • Materialuntersuchung mit THz-Wellen • THz-Kommunikation • Drahtlose THz-Übertragungssysteme • Übertragung optischer Signale mit THz-Bandbreite • Verarbeitung von Signalen sehr großer Bandbreite 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „THz-Systemtechnik / THz-Photonik“, 3 SWS Übung „THz-Systemtechnik / THz-Photonik“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten	
6	Literatur ☒ R. A. Lewis, Terahertz Physics, Cambridge University Press, ISBN 978-1-107-01857-0	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr. Thomas Schneider	

Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 6	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 180 h	Davon Präsenzzeit: 56 h	Davon Selbststudium: 124 h
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden vertieftes Verständnis und eine fundierte Anschauung der Theorie elektromagnetischer Wellen im Hinblick auf die Lösung der homogenen Wellengleichung (Wellenleiterstrukturen) sowie die Lösung der inhomogenen Wellengleichung (Antennen). Sie haben verschiedene analytische und numerische Lösungsverfahren für elektromagnetische Probleme kennen gelernt und exemplarisch selbst implementiert sowie im Rahmen kommerzieller 3D-EM-Software angewendet. Sie können problemangepasste Lösungsverfahren auswählen und fundiert auf elektromagnetische Problemstellungen anwenden. Gemäß didaktischem Konzept der Veranstaltung und Ausgestaltung der einzelnen Bestandteile werden überfachliche Qualifikationen vermittelt bzw. eingeübt. Im Rahmen von Ausarbeitungen, Kolloquien und Abschlusspräsentationen sind dies wissenschaftliches Schreiben u. Dokumentation, Gesprächsführung und Präsentationstechniken sowie die Teamarbeit im Labor oder Projekt.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Theorie der zeitharmonischen elektromagnetischen Felder (Maxwellsche Gleichungen, Wellengleichungen, Energiesatz, Eindeutigkeitssatz, Reziprozität) • Berechnungsverfahren (Vektorpotentiale, Lorenz-Eichung, Lösung der (in)homogenen Wellengleichung, Quellintegrale, Greensche Funktion) • Eigenwellen von Wellenleitern, Oberflächenwellen, Leckwellen • Strahlungsfelder (Huygens-Prinzip, Bildtheorie, Fresnel- und Fraunhofer-Näherung) • Einführung in die numerische Berechnung elektromagnetischer Probleme: (FDTD, Momentenmethode, Eigenwellenentwicklung) • Exemplarische Implementierung von Lösungsverfahren in Matlab oder Python • Berechnung elektromagnetischer Strukturen mit kommerzieller 3D-EM-Software 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik“, 2 SWS Übung „Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten oder Hausarbeit oder Semesterprojekt (§ 4 Abs. 14)	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Harrington, Time-harmonic Electromagnetic Fields, Wiley & Sons, ISBN 047120806X ☒ Unger, Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik I + II, Hüthig, ISBN 377851573X, ISBN 3778515748 ☒ Pozar, Microwave Engineering, Wiley & Sons, ASIN B001QA4I9C 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Jörg Schöbel	

Informationstheorie		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 42 h
Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Im Modul wird eine Einführung in die Grundlagen der Shannonschen Informationstheorie gegeben. Ziel ist es, dass die Studierenden wesentliche informationstheoretische Resultate zur maximal möglichen verlustlosen (Quellencodierung) und verlustbehafteten (Rate-Distortion-Theorie) Komprimierung von Daten und zur maximalen Geschwindigkeit einer zuverlässigen Datenübertragung (Kanalcodierung) herleiten können. Die für die analytischen Betrachtungen benötigten Hilfsmittel in Form von Informationsmaßen (Entropie, Transinformation, Kapazität usw.) sowie deren Eigenschaften (typische Sequenzen) werden ebenso behandelt wie in der Praxis einsetzbare, einfache Codes (Block-Codes und Turbo-Codes und Polar-Codes).	
2	Inhalte des Moduls Grundbegriffe aus der Wahrscheinlichkeitstheorie <ul style="list-style-type: none"> • Ereignis, Wahrscheinlichkeit, Zufallsgröße, Zufallsvektor, zufälliger Prozess, Konvergenz zufälliger Folgen, Konvergenzsätze Grundbegriffe aus der Informationstheorie <ul style="list-style-type: none"> • Maße für diskrete Zufallsgrößen: Entropie, bedingte Entropie, relative Entropie, Transinformation, bedingte Transinformation, Ungleichungen • Maße für stetige Zufallsgrößen: Differentielle Entropie, bedingte differentielle Entropie, relative Entropie, Transinformation, bedingte TI, Ungleichungen • Maße für zufällige Folgen • Typische Sequenzen und asymptotische Gleichverteilungseigenschaft Quellen und Quellencodierung <ul style="list-style-type: none"> • Definition und Eigenschaften • Quellencodierung für diskrete gedächtnislose Quellen (feste und variable Länge) • Ausgewählte Quellencodes: Morse, Huffman, Shannon-Fano-Elias Datenübertragung und Kanalkapazität <ul style="list-style-type: none"> • Diskreter gedächtnisloser Kanal: Kanalcodierungstheorem • Diskreter gedächtnisloser Kanal mit Zustand: Kanalkapazitäten • Gaußkanal: Modell und Kanalcodierungstheorem • Bandbegrenzter Gaußkanal, Vektorwertige Gaußkanäle 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Informationstheorie“, 2 SWS Übung „Informationstheorie“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Klausur 90 Min oder mündliche Prüfung 30 Min	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ R.W. Yeung: Information Theory and Network Coding, Part I, Springer, 2008. ☒ R.W. Yeung: A First Course in Information Theory, Springer, 2002. ☒ T.M. Cover und J.A. Thomas: Elements of Information Theory, Wiley-Interscience, 2006. ☒ R.G. Gallager: Information Theory and Reliable Communication, Wiley, 1968. ☒ R.G. Gallager: Principles of Digital Communication, Cambridge University Press, 2008. ☒ S. Moser: S. Moser: Information Theory, https://moser-isi.ethz.ch/scripts.html#it 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	

8	Organisationseinheit Institut für Nachrichtentechnik, TUBS
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Eduard Jorswieck

Antennen und Strahlungsfelder		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 6	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 180 h Davon Präsenzzeit: 56 h Davon Selbststudium: 124 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden ein vertieftes Verständnis der elektromagnetischen Theorie für Strahlungsfelder sowie ein Grundverständnis der Wellenausbreitung und zugehöriger Phänomene (z.B. Radarquerschnitt). Sie haben verschiedene Typen von Antennenelementen sowie Gruppenantennen kennen gelernt und besitzen ein anschauliches und fundiertes theoretisches Verständnis ihrer elektromagnetischen Eigenschaften und ihrer Kenngrößen. Die Studierenden haben erste Erfahrungen im Umgang mit modernen 3D-EM-Simulationstools und moderner HF-Messtechnik gesammelt und sind befähigt, sich weitere vertiefte Kenntnisse in der Anwendung dieser Werkzeuge selbst zu erarbeiten.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Maxwell'sche Theorie und Berechnungsverfahren (Wellengleichungen, Lösung der inhomogenen Wellengleichung, Quellintegrale, Huygens-Prinzip, Bildtheorie, Hertz'scher Dipol) • Einfache Antennenformen, Antennenkenngößen • Gruppenantennen und Beamforming, Synthese von Antennenpattern • Aperturantennen, Fouriertransformation, Horn- und Schlitzstrahler, Parabolantennen, Physical Optics • Wellenausbreitung, Beugungsgrenzen freier Ausbreitung, statische Modelle, Radarquerschnitt • Antennen- und RCS-Messtechnik • Moderner Stand der Technik und aktuelle Forschung 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Antennen und Strahlungsfelder“, 2 SWS Übung „Antennen und Strahlungsfelder“, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Mathematik, Elektromagnetische Felder, Grundlagen der Informationstechnik, Leitungstheorie	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten oder Hausarbeit	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Unger, Hochfrequenztechnik in Funk und Radar, Teubner-Verlag, ISBN 3519300184 ☒ Unger, Elektromagnetische Theorie für die - Hochfrequenztechnik, Hüthig-Verlag, ISBN 377851573X ☒ Pozar, Microwave Engineering, Wiley, ASIN B001QA4I9C 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Jörg Schöbel	

Lineare Mikrowellschaltungen mit Praktikum		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 6	Häufigkeit des Angebots WiSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 180 h Davon Präsenzzeit: 56 h Davon Selbststudium: 124 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden ein vertieftes Verständnis passiver und aktiver linearer Mikrowellen-Schaltungen, insbesondere Filter und Verstärker. Sie sind in der Lage, lineare Mikrowellen-Schaltungen zu entwerfen und haben entsprechende Entwurfsverfahren am praktischen Beispiel eingesetzt	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Anpass-Strukturen, binomische und Tschebyscheff-Transformatoren, Bode-Fano-Kriterium • pin-Diode, Mikrowellen-Schalter und Phasenschieber • Bipolartransistor, HBT, FET, HEMT, Verstärker, LNA, Leistungsverstärker • Entwurf und Realisierung von Mikrowellen-Filtern • Entwurf von linearen Mikrowellen-Schaltungen mit kommerzieller Design-Software 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Lineare Mikrowellschaltungen“, 2 SWS Übung „Lineare Mikrowellschaltungen“, 1 SWS Praktikum, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten oder Hausarbeit oder Semesterprojekt (§ 4 Abs. 11)	
6	Literatur ☒ Pozar, Microwave Engineering, Wiley, ASIN B001QA4I9C ☒ Unger, Harth, Hochfrequenz-Halbleiterelektronik, Hirzel, ISBN 3777602353	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Jörg Schöbel	

Digitale Messdatenverarbeitung mit Mikrorechnern mit Praxis		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 6	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 180 h Davon Präsenzzeit: 70 h Davon Selbststudium: 110 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls "Digitale Messdatenverarbeitung mit Mikrorechnern" verfügen die Studierenden über eine Übersicht über die Funktionsweise und Programmierung von Mikrocontrollern für die Messdatenverarbeitung. Die erworbenen praktischen Kenntnisse ermöglichen die Programmierung von eingebetteten Systemen für messtechnische Anwendungen. Gemäß didaktischem Konzept der Veranstaltung und Ausgestaltung der einzelnen Bestandteile werden überfachliche Qualifikationen vermittelt bzw. eingeübt. Im Rahmen von Ausarbeitungen, Kolloquien und Abschlusspräsentationen sind dies wissenschaftliches Schreiben u. Dokumentation, Gesprächsführung und Präsentationstechniken sowie die Teamarbeit im Labor oder Projekt.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Statistische Behandlung von Messdaten, • Interpolation von Messdaten, • Signalanalyse: diskrete (DFT) und schnelle (FFT) Fourier-Transformation • z-Transformation: digitale Filter, Korrelation, Simulation eines geschlossenen Regelkreises, • Regler und Regelstrecke als IIR- und FIR-Filter. • Assemblersprache von Mikroprozessoren • Implementierung der Algorithmen der digitalen Signalverarbeitung in Assembler und C 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Digitale Messdatenverarbeitung mit Mikrorechnern“, 2 SWS Übung „Digitale Messdatenverarbeitung mit Mikrorechnern“, 1 SWS Praxisanteil, 2 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> mündliche Prüfung 30 min (Schriftliche Klausur 120 min nur bei sehr großen Teilnehmerzahlen)	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Weber, H.: Laplace Transformation, Teubner Verlag, Stuttgart, 1984, ISBN 978-3519001416 ☒ Doetsch, G.: Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace-Transformation und der z-Transformation, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1985, ISBN 978-3486298451 ☒ Stearns, S.D.: Digitale Verarbeitung analoger Signale, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1979, ISBN 978-3486245288 ☒ Birk, H.; Swik, R.: Mikroprozessoren und Mikrorechner und ihre Anwendung in der Automatisierungstechnik, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1983, ISBN 978-3486244328 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof.Dr.rer.nat. Meinhard Schilling	

Digitale Schaltungen		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung Gesamt: 150 h Davon Präsenzzeit: 42 h Davon Selbststudium: 108 h		
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele Nach Abschluss des Moduls besitzen die Studierenden ein grundlegendes Verständnis der digitalen Schaltungstechnik vom Chip bis zum System. Die Studierenden sind in der Lage, sowohl grundlegende digitale Schaltungen als auch komplexe zusammengesetzte Schaltungsstrukturen in ihrer Funktionsweise zu analysieren und zu modifizieren. Dabei können sie auch realitätsnahe Effekte wie Laufzeiten und Störungen berücksichtigen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Grundbegriffe • Pulstechnik (einschl. Leitungen, Störungen) • Digitalschaltungsfamilien (CMOS, ECL, ...) • Digitale Kippschaltungen, Zeitglieder und Oszillatoren • Stabilität und Synchronisation von Kippschaltungen • Zusammengesetzte Schaltungsstrukturen (PLA, ROM, RAM, FPGA) 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Digitale Schaltungen“, 2 SWS Übung „Digitale Schaltungen“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Klausur 150 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ R. Ernst und I. Könenkamp: Digitale Schaltungstechnik für Elektrotechniker und Informatiker, 1995 ☒ Tom Granberg: Digital Techniques for High Speed Design, Pearson Education, 2004, ISBN 0-13-142291-x 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Harald Michalik	

Grundlagen der Digitalen Signalverarbeitung		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Wahlpflicht
Leistungspunkte 5	Häufigkeit des Angebots SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 1. Semester oder 2. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 150 h	Davon Präsenzzeit: 42 h	Davon Selbststudium: 108 h
Weitere Verwendung des Moduls TUBS		
1	Qualifikationsziele After completing this module, students will have basic knowledge on the tools of digital signal processing in the time and frequency domain and can apply these tools to corresponding problems.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Discrete-time signals and systems • Fourier transforms • Z-transforms and applications • Discrete-time IIR filter design • Discrete-time FIR filter design • Discrete Fourier Transform (DFT) and Fast Fourier Transform (FFT) • Basics of multi-rate processing and filter banks 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Vorlesung „Grundlagen der Digitalen Signalverarbeitung“, 2 SWS Übung „Grundlagen der Digitalen Signalverarbeitung“, 1 SWS	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> written exam, 120 minutes or oral examination 30 minutes	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ A.V. Oppenheim, R.W. Schafer, J.R. Buck: "Zeitdiskrete Signalverarbeitung", Pearson Verlag, 2004 ☒ K.D. Kammeyer, K. Kroschel: "Digitale Signalverarbeitung", Teubner Verlag, 2002 ☒ A.V. Oppenheim, R.W. Schafer, J.R. Buck: "Discrete Time Signal Processing", Prentice-Hall, 2004 ☒ H.-W. Schübler: "Digitale Signalverarbeitung 1", Springer Verlag, 1994 	
7	Weitere Angaben Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
8	Organisationseinheit Institut für Nachrichtentechnik, TUBS	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Prof. Dr.-Ing. Tim Fingscheidt	

Masterarbeit und Forschungsphase

Forschungspraktikum / Projektplanung		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Pflicht
Leistungspunkte 30 LP	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 3. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 900 h		Davon Präsenzzeit: -
Davon Selbststudium: 900 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
M. Sc. Physik, M. Sc. Meteorologie		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden sind in der Lage, sich in die Messmethoden oder theoretischen Konzepte eines Forschungsgebietes einzuarbeiten. Sie können sich einen Überblick über die Fachliteratur zu einem Forschungsprojekt verschaffen. Die Studierenden sind befähigt in einem (international zusammengesetzten) Team zu arbeiten und problemlos auf Deutsch und Englisch zu kommunizieren. Die Studierenden haben sich soziale Kompetenzen angeeignet, die sie befähigen, sich in ein Forschungs- oder Entwicklungsteam einzugliedern. Sie können selbstständig wissenschaftlich arbeiten und komplexe Projekte planen. Die Studierenden können eigenständig recherchieren und sich einen Überblick über die z.T. englischsprachige Fachliteratur zu einem Forschungsprojekt verschaffen. Sie sind in der Lage, einen wissenschaftlichen Vortrag zu halten und ihr eigenes Forschungsprojekt im Kontext des aktuellen Stands der Wissenschaft darzustellen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Literaturrecherche • Einarbeitung in theoretische Verfahren bzw. experimentelle Verfahren • Diskussion von Problemstellungen aktueller Forschung im Arbeitsgruppenseminar • Definition einer wissenschaftlichen Problemstellung • Methoden des Projektmanagements • Erstellung, Vorstellung und Diskussion eines Projektplans 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen Praktikum „Forschungspraktikum“ Projekt „Projektplanung für die Masterarbeit“ Seminar „Arbeitsgruppenseminar“	
4a	Teilnahmevoraussetzungen ---	
4b	Empfehlungen Fortgeschrittene Vertiefungsmodule des jeweiligen Masterstudiengangs	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> Seminarleistung	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> -	
6	Literatur <ul style="list-style-type: none"> ☒ Aktuelle Literatur zum jeweiligen Forschungsbereich ☒ Alley, The Craft of Scientific Presentation, Springer ☒ Stickel-Wolf, Wolf, Wissenschaftliches Arbeiten und Lerntechniken, ISBN: 3-409-31826-7, Gabler Verlag ☒ Steinle, Bruch, Lawa, (Hrsg.), Projektmanagement: Instrument moderner Dienstleistung, 1995, ISBN 3-929368-27-7, FAZ ☒ Little, (Hrsg.), Management der Hochleistungsorganisation, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1990 	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Versch. Fakultäten	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Studiendekan/in	

Masterarbeit		Kennnummer/Prüfcode
Master Quantum Engineering		Modultyp Pflicht
Leistungspunkte 30	Häufigkeit des Angebots WiSe/SoSe	Sprache Deutsch / Englisch
Kompetenzbereich ---	Empfohlenes Fachsemester 4. Semester	Moduldauer 1 Semester
Studentische Arbeitsbelastung		
Gesamt: 900 h		Davon Präsenzzeit: -
Davon Selbststudium: 900 h		
Weitere Verwendung des Moduls		
M. Sc. Physik, M. Sc. Meteorologie		
1	Qualifikationsziele Die Studierenden können sich selbstständig in ein Forschungsprojekt einarbeiten. Sie sind in der Lage, unter Anleitung wissenschaftliche Projekte zu strukturieren, vorzubereiten und durchzuführen. Sie verschaffen sich einen Überblick über die aktuelle Literatur und analysieren und lösen komplexe Probleme. Die Studierenden können kritische Diskussionen über eigene und fremde Forschungsergebnisse führen und konstruktiv mit Fragen und Kritik umgehen. Die Studierenden beherrschen die deutsche und englische Fachsprache. Sie sind in der Lage, einen wissenschaftlichen Vortrag zu halten und ihre eigenen Ergebnisse im Kontext des aktuellen Stands der Wissenschaft darzustellen.	
2	Inhalte des Moduls <ul style="list-style-type: none"> • Selbstständige Bearbeitung einer aktuellen wissenschaftlichen Problemstellung in einem internationalen Forschungsumfeld • Schriftliche Dokumentation und mündliche Präsentation des Forschungsprojekts und der Ergebnisse • Wissenschaftliche Diskussion der Ergebnisse 	
3	Lehrformen und Lehrveranstaltungen ---	
4a	Teilnahmevoraussetzungen Forschungspraktikum/Projektplanung und mind. 40 Leistungspunkte	
4b	Empfehlungen ---	
5	Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Schriftliche Ausarbeitung der Masterarbeit	
6	Literatur <input checked="" type="checkbox"/> Aktuelle Literatur zur jeweiligen wissenschaftlichen Problemstellung <input checked="" type="checkbox"/> Day, How to write & publish a scientific paper. Cambridge University Press <input checked="" type="checkbox"/> Walter Krämer, Wie schreibe ich eine Seminar- oder Examensarbeit?, 1999, ISBN: 3-593-36268-6, Gruppe: Studienratgeber, Reihe: campus concret, Band: 47.	
7	Weitere Angaben ---	
8	Organisationseinheit Versch. Fakultäten	
9	Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher Studiendekan/in	

Prüfungsverfahren: Das Thema der Masterarbeit wird von der oder dem Erstprüfenden nach Rücksprache mit dem Prüfling festgelegt. Die Ausgabe ist aktenkundig zu machen und dem Prüfling sowie dem Studiendekanat schriftlich mitzuteilen. Mit der Ausgabe des Themas werden die oder der Erstprüfende und die oder der Zweitprüfende bestellt. Während der Anfertigung der Arbeit wird der Prüfling von der oder dem Erstprüfenden betreut.