

Masterstudiengang Quantum Engineering

# Modulkatalog

Stand 21.11.2022

Fakultät für Mathematik und Physik  
der Leibniz Universität Hannover

in Verbindung mit  
der QUEST-Leibniz-Forschungsschule

in Kooperation mit  
der Technischen Universität Braunschweig



**Kontakt**

Studiendekanat der Fakultät für Mathematik und Physik  
Appelstr. 11 A  
30167 Hannover  
Tel.: 0511/ 762-4466  
studiensekretariat@maphy.uni-hannover.de

**Studiendekan**

Prof. Dr. Detlev Ristau  
Appelstr. 11 A  
30167 Hannover  
studiendekan@maphy.uni-hannover.de

**Studiengangskoordination**

Dipl.-Ing. Axel Köhler  
Dr. Katrin Radatz  
Dipl.-Soz.Wiss. Miriam Redlich  
Appelstr. 11 A  
30167 Hannover  
Tel.: 0511/ 762-5450  
sgk@maphy.uni-hannover.de

## Vorbemerkung

Dieses Dokument besteht aus zwei Teilen:

- Im ersten Teil werden zentrale Ansprechpartner/innen vorgestellt und in das Studium eingeführt.
- Der zweite Teil bildet den Modulkatalog, er stellt die Module und deren Lehrveranstaltungen dar.
- Im dritten Teil sind andere wichtige Informationen zum Studium zu finden. Vor allem werden die Weiteren für das Studium wichtigen Institutionen aufgeführt.

Der Modulkatalog sollte auch als Ergänzung zur Prüfungsordnung verstanden werden. Die aktuelle Version der Prüfungsordnung finden Sie jeweils unter:

[https:// www.uni-hannover.de/de/studium/im-studium/pruefungsinfos-fachberatung/studiengang/ordnungen-2](https://www.uni-hannover.de/de/studium/im-studium/pruefungsinfos-fachberatung/studiengang/ordnungen-2)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Die Fakultät im Überblick</b> .....	6
Die physikalischen Institute der Fakultät .....	7
Aufbau und Gremien.....	8
Das Studium des MA Quantum Engineering an der Leibniz Universität.....	10
<b>Musterstudienverlaufsplan</b> .....	12
<b>Interessenschwerpunkt Quantenkommunikation (Bsp. Start WiSe)</b> .....	13
<b>Interessenschwerpunkt Quantencomputing und –simulation (Bsp. Start WiSe)</b> .....	14
<b>Interessenschwerpunkt Quantenmetrologie und –sensorik mit Licht (Bsp. Start WiSe)</b> .....	15
<b>Interessenschwerpunkt Quantenmetrologie und –sensorik mit Atomen (Bsp. Start WiSe)</b> .....	16
<b>Pflichtmodule</b> .....	17
Grundlagen .....	17
Seminar & Schlüsselkompetenzen .....	19
Praktische Anwendung .....	21
<b>Wahlpflichtmodule</b> .....	22
Praktische Anwendung .....	22
Bereich Quantum (LUH) .....	24
Bereich Engineering (TUBS) .....	43
<b>Masterarbeit und Forschungsphase</b> .....	61
<b>Weitere Angebote und Ansprechpartner für Studieninformation und –beratung</b> .....	63
Ansprechpartner innerhalb der Fakultät für Mathematik und Physik.....	63
Studienorganisation.....	63
Fachstudienberatung .....	63
BAföG-Beauftragter.....	64
Fachschaft Mathematik und Physik .....	64
Prüfungsausschuss.....	65
Zentrale Ansprechpartner .....	66
Akademisches Prüfungsamt .....	67
Studieren im Ausland.....	67
Ombudsperson der Universität .....	68
Coaching-Service und Psychologisch–Therapeutische Beratung für Studierende (ptb) .....	68
Weitere Angebote .....	69
Bibliotheken.....	69
Leibniz Universität IT Services (LUIS).....	69
Das Leibniz Language Centre (ehemals Fachsprachenzentrum) .....	69

ZQS/Schlüsselkompetenzen: Bausteine für Erfolg in Studium und Beruf.....	70
Studieren und leben in Hannover.....	70
Anhang Links und Lagepläne.....	73
Links .....	73
Lagepläne .....	74

## Die Fakultät im Überblick

Der Dekan leitet die Fakultät. Die Verantwortung für das Lehrangebot trägt der Studiendekan. Er wird vertreten vom Studienprodekan.

### Dekan

Prof. Dr. Ulrich Derenthal  
Herrenhäuser Straße 2  
30419 Hannover

[dekan@maphy.uni-hannover.de](mailto:dekan@maphy.uni-hannover.de)

- 3312 / - 5499

### Studiendekan

Prof. Dr. Detlev Ristau  
Welfengarten 1 (Raum e 340)  
30167 Hannover

[studiendekan@maphy.uni-hannover.de](mailto:studiendekan@maphy.uni-hannover.de)

- 17203/-4466

### Studienprodekan

Prof. Dr. Wolfram Bauer  
Holleritallee 8  
30419 Hannover

[studienprodekan@maphy.uni-hannover.de](mailto:studienprodekan@maphy.uni-hannover.de)

0511 2788240

### Geschäftszimmer Studiendekanat

Mariana Stateva-Andonova  
Appelstraße 11A (Raum A120)  
30167 Hannover

[studiensekretariat@maphy.uni-hannover.de](mailto:studiensekretariat@maphy.uni-hannover.de)

- 4466

Die physikalischen Institute der Fakultät

[www.maphy.uni-hannover.de/de/institute](http://www.maphy.uni-hannover.de/de/institute)

Die Standorte der physikalischen Institute verteilen sich auf mehrere Gebäude im Stadtgebiet Hannover.

Die aktuellen Sprechstunden sind in der Regel auf den Internetseiten der Institute zu finden. Man kann auch per E-Mail oder Telefon einen Termin außerhalb der offiziellen Sprechzeiten vereinbaren.

**Institut für Festkörperphysik**

[www.fkp.uni-hannover.de](http://www.fkp.uni-hannover.de)

**Institut für Gravitationsphysik**

[www.aei-hannover.de](http://www.aei-hannover.de)

**Institut für Quantenoptik**

[www.iqo.uni-hannover.de](http://www.iqo.uni-hannover.de)

**Institut für Theoretische Physik**

[www.itp.uni-hannover.de](http://www.itp.uni-hannover.de)

**Institut für Radioökologie und Strahlenschutz**

[www.irs.uni-hannover.de](http://www.irs.uni-hannover.de)

**Institut für Photonik**

<http://www.iop.uni-hannover.de>

## Aufbau und Gremien

Die Fakultät für Mathematik und Physik besteht aus dreizehn Instituten. Zum Bereich der Physik gehören sieben Institute. Diese sind zum Teil weiter in Abteilungen untergliedert oder lassen sich thematisch in Arbeitsgruppen unterteilen.

Das Institut für Gravitationsphysik arbeitet unter einem Dach sehr eng mit dem Hannoveraner Teilinstitut des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) zusammen. In Forschung und Lehre besteht eine enge Verzahnung mit dem Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH) und dem Laboratorium für Nano- und Quantenengineering (LNQE).

### Die Gremien der Fakultät

Die aktuellen Mitglieder der folgenden Gremien sind der Homepage der Fakultät für Mathematik und Physik ([www.maphy.uni-hannover.de](http://www.maphy.uni-hannover.de)) zu entnehmen. Die E-Mail-Adressen der studentischen Vertreterinnen und Vertreter finden sich auf der Homepage der Fachschaft Mathematik und Physik.

### Fakultätsrat

Der Fakultätsrat entscheidet in Angelegenheiten der Forschung und Lehre von grundsätzlicher Bedeutung. Er beschließt die Ordnungen der Fakultät, insbesondere die Prüfungsordnungen. Der Fakultätsrat besteht aus sieben Professorinnen und Professoren, zwei wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, zwei Studierenden, zwei Vertreter der Promotionsstudierenden (ohne Stimmrecht) und zwei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Technischen und Verwaltungsdienstes (MTV-Gruppe); der Dekan hat den Vorsitz inne. Die Sitzungen sind zum überwiegenden Teil öffentlich und finden während der Vorlesungszeit mittwochs in etwa monatlich statt.

### Studienkommission

Die Studienkommission ist vor Entscheidungen des Fakultätsrates in allen Angelegenheiten der Lehre, des Studiums und der Prüfungen zu hören. Der Fakultätsrat hat die Empfehlungen zu würdigen. Der Studienkommission gehören als stimmberechtigte Mitglieder zwei Professorinnen und Professoren, ein/e wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in und vier Studierende an; der Studiendekan hat den Vorsitz inne. Die Studienkommission tagt in der Regel zwei Wochen vor dem Fakultätsrat.

### Prüfungsausschuss

Der Prüfungsausschuss Physik stellt die Durchführung der Prüfungen für den Bachelor- und Masterstudiengang Physik sicher. Er achtet darauf, dass die Prüfungsordnung eingehalten wird. Auch bei Zweifelsfällen in Prüfungsfragen entscheidet der Prüfungsausschuss.

Ein Anliegen für den Prüfungsausschuss wird in der Regel direkt an den Vorsitzenden des Prüfungsausschusses gerichtet.

## Die Fachschaft

[www.fs-maphy.uni-hannover.de](http://www.fs-maphy.uni-hannover.de)

Die Studierenden der Fakultät für Mathematik und Physik bilden die gemeinsame Fachschaft Mathematik/Physik. Die Interessen der Fachschaft vertritt der offene Fachschaftsrat, in dem alle Studierenden mitarbeiten können. Der Fachschaftsrat trifft sich in der Vorlesungszeit immer montags um 18.15 Uhr im Fachschaftsraum.

Die hauptsächliche Aufgabe des Fachschaftsrats ist die Vertretung der studentischen Interessen in den Gremien der Fakultät. So wirkt er über die studentischen Vertreterinnen und Vertreter z.B. bei der Gestaltung der Studien- und Prüfungsordnungen oder der Verwendung von Studienbeiträgen mit und kann bei der Neueinstellung von Professorinnen und Professoren in den Berufungskommissionen mitentscheiden. Er wirkt aber auch in fakultätsübergreifenden Gremien mit.

Wer Interesse hat selbst aktiv an der Planung von Lehre und Forschung – also in den Gremien mitzuarbeiten, ist immer willkommen im Fachschaftsrat.

### Kontakt:

Fachschaft Mathematik/Physik  
Welfengarten 1 (Raum d 414)  
30167 Hannover

[info@fsr-maphy.uni-hannover.de](mailto:info@fsr-maphy.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511-762-7405  
[www.fs-maphy.uni-hannover.de](http://www.fs-maphy.uni-hannover.de)

# Das Studium des MA Quantum Engineering an der Leibniz Universität

*Bitte beachten Sie, dass als rechtsverbindliche Formulierung aller Prüfungsordnungen ausschließlich die in den Verkündungsblättern der Universität veröffentlichte gilt.*

## Zugangsvoraussetzung:

Die Masterstudiengänge sind zulassungsbeschränkt. Die genauen Regeln (inklusive Ausnahmeregel) stehen in den entsprechenden Zugangsordnungen:

[www.uni-hannover.de/bewerbung-und-zulassung/voraussetzungen-zum-studium](http://www.uni-hannover.de/bewerbung-und-zulassung/voraussetzungen-zum-studium)

Die Bewerbungsfrist für eine Aufnahme in einen Masterstudiengang endet zum Wintersemester am 15. Juli (für nicht-EU-Bürger am 31. Mai) und zum Sommersemester jeweils am 15. Januar (für nicht-EU Bürger am 30. November des Vorjahres).

## Das Studium:

Die Studieninhalte sind in so genannte **Module** gegliedert. Ein Modul ist eine thematische Zusammenfassung von Lehrveranstaltungen. Es kann also mehr als eine Veranstaltung zu einem Modul gehören. Zur Ausbildung tragen neben den meist von Übungen begleiteten Vorlesungen auch Labore und Seminare bei. Zum erfolgreichen Absolvieren eines Studiengangs müssen in den einzelnen Modulen **Studienleistungen** sowie **Prüfungsleistungen** erbracht werden.

Bei den Studienleistungen wird in der Regel eine Mindestpunktzahl aus Übungsbearbeitungen gefordert. Bewertungen von Studienleistungen gehen nicht in die Endnote ein. Studienleistungen können beliebig oft wiederholt werden.

Die Inhalte eines Moduls werden als Prüfungsleistung studienbegleitend in der Regel durch eine mündliche Prüfung oder eine Klausur abgeprüft.

Jedem Modul sind entsprechend dem erwarteten Arbeitsaufwand so genannte **Leistungspunkte** zugeordnet. Nach Erbringen der erforderlichen Studien- und Prüfungsleistungen werden den Studierenden die dem Modul zugeordneten Leistungspunkte gutgeschrieben.

Leistungspunkte nach dem *European Credit Transfer and Accumulation System* (ECTS) beschreiben den Aufwand, der erforderlich ist, um die durch ein Modul vermittelte Kompetenz zu erwerben. Ein Leistungspunkt (LP) entspricht einem geschätzten Arbeitsaufwand von 30 Stunden. Pro Semester sind etwa 30 Leistungspunkte zu erwerben.

In den Masterstudiengängen sind mindestens **120 Leistungspunkte** zu erwerben. Die Module erstrecken sich über ein bis zwei Semester. Sie erfordern von den Studierenden in der Regel jeweils etwa einen Arbeitsaufwand zwischen 150 und 300 Stunden, entsprechend 5 bis 10 LP. Einen über diesen Regelumfang hinausgehenden Arbeitsaufwand benötigen insbesondere die Module der Forschungsphase im Masterstudiengang.

Die **Abschlussnote** berechnet sich als mit den Leistungspunkten der Module gewichtetes Mittel der Prüfungsnoten.

*Welche Module Sie in Ihrem Studiengang belegen müssen können Sie in der Prüfungsordnung Ihres Studiengangs nachlesen.*

#### **Anmeldung und Durchführung der Prüfungen:**

Zu jeder Prüfung muss innerhalb eines festgesetzten Anmeldezeitraums eine Anmeldung beim Prüfungsamt erfolgen. Bei Nichtbestehen einer Prüfungsleistung besteht die Möglichkeit zur zweimaligen Wiederholung. Ausgenommen hiervon sind die Bachelor- und die Masterarbeiten. Sie dürfen einmal mit einem anderen Thema wiederholt werden.

Die Anmelde- und Prüfungstermine finden sich in Ihrer Prüfungsordnung.

In den folgenden Abschnitten finden Sie unter anderem konkrete **Studienverlaufspläne**. Bitte beachten Sie, dass diese Studienverlaufspläne lediglich **Vorschläge** zur Gestaltung Ihres Studiums sind. Sie sind keineswegs so vorgeschrieben. Beachten Sie aber bei Ihrer persönlichen Planung, dass gerade die Grundvorlesungen zum Teil stark aufeinander aufbauen und deshalb in der angegebenen Reihenfolge gehört werden sollten. Bei Fragen stehen Ihnen die Studiengangskoordination und die Fachberater gerne zur Verfügung.

## 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/F PGA	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 (ab WiSe 2023/24)		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/FPGA	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/F PGA	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

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

<b>Fortgeschrittene Festkörperphysik</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Pflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe/SoSe	<b>Sprache</b> Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 150 h	Davon Präsenzzeit: 60 h	Davon Selbststudium: 90 h
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
M. Sc. Physik		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dielektrische Eigenschaften</li> <li>• Quantenoptik in Festkörpern</li> <li>• Magnetismus</li> <li>• Supraleitfähigkeit</li> <li>• Neue Themen in der Festkörperphysik (Phasenübergänge, niedrigdimensionale Systeme, Quantencomputer, topologische Zustände)</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Fortgeschrittene Festkörperphysik“, 3 SWS Übung „Fortgeschrittene Festkörperphysik“, 1 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> Einführung in die Festkörperphysik	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> Tests	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung oder Klausur 90 min	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> ☒ R. Gross und A. Marx, Festkörperphysik, De Gruyter ☒ D. Snoke, Festkörperphysik: Grundlegende Konzepte, Cambridge University Press	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Festkörperphysik (FKP), LUH	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. Fei Ding	

## Seminar & Schlüsselkompetenzen

<b>Seminar</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Pflicht
<b>Leistungspunkte</b> 3 LP / 2 SWS	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe/SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 90 h   Davon Präsenzzeit: 30 h   Davon Selbststudium: 60 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> Die Studierenden sind in der Lage, zu einem vorgegebenen, aktuellen Thema aus dem Bereich Quantum Engineering, 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortgeschrittene Themen der Physik</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> 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.	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b> <i>Studienleistungen:</i> - <i>Prüfungsleistungen:</i> VbP (Seminarleistung)	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> wird in den Lehrveranstaltungen bekanntgegeben	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Fakultät für Mathematik und Physik	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Studiendekan/in	

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

## Praktische Anwendung

<b>Computational Methods, Simulations &amp; Experimental Control</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Pflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe/SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester und 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 8 Wochen über 2 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 150 h	Davon Präsenzzeit: 30 h	Davon Selbststudium: 120 h
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fortgeschrittene Datenanalyse</li> <li>• Mikrokontroller und FPGA-Programmierung</li> <li>• Quantenoptik-Simulationen mit QuTiP</li> <li>• Echtzeit-Experimentsteuerung mit ARTIQ</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Praktikum, 4 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> -	
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Quantenoptik (IQO), Institut für Festkörperphysik (FKP), Institut für Gravitationsphysik (IGP), LUH	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. Piet O. Schmidt	

## Wahlpflichtmodule

### Praktische Anwendung

<b>Projektarbeit</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 8 LP / 6 SWS	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe/SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 8 Wochen
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 320 h		Davon Präsenzzeit: -
		Davon Selbststudium: 220 h
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> 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.	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> ---	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> VbP oder PJ - schriftliche Ausarbeitung der Projektarbeit (10-15 Seiten)	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> Aktuelle Literatur zur jeweiligen wissenschaftlichen Problemstellung	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> Das Praktikum ist vorab genehmigungspflichtig durch den/die Vorsitzende/n des Prüfungsausschusses.	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Versch. Fakultäten	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Studiendekan/in	

<b>Quanten-Industriepraktikum A/B</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 8 o. 13 LP / 6 o.10 SWS	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe/SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 8 o.12 Wochen
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 320 h o. 480h		Davon Präsenzzeit: -  Davon Selbststudium: 320 h o. 480h
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> 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.	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Praktikum	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> VbP (Praktikumsbericht (10-15 Seiten))	
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> <i>Quanten-Industriepraktikum Variante B:</i> Für die Dauer des Industriepraktikums sind 8 Wochen vorgesehen, die mit 8 LP vergütet werden. <i>Quanten-Industriepraktikum Variante A:</i> Wird das Industriepraktikum auf 12 Wochen verlängert, werden zusätzliche 5 LP vergeben. Stattdessen ist ein Wahlpflichtmodul weniger zu belegen. Wird das Industriepraktikum stärker verlängert, können dafür keine weiteren LP mehr vergeben werden.	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> QUEST-LFS, LUH	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Stellv. Vorsitzende/r QUEST-LFS	

## Bereich Quantum (LUH)

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

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

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

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

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

<b>Atomoptik</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 60 h
Davon Selbststudium: 90 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atom-Licht Wechselwirkung</li> <li>• Strahlungsdruckkräfte</li> <li>• Atom- und Ionenfallen</li> <li>• Kühlung durch Evaporation</li> <li>• Bose-Einstein-Kondensation</li> <li>• Ultrakalte Fermi-Gase</li> <li>• Experimente mit ultrakalten und entarteten Quantengasen</li> <li>• Atome in optischen periodischen Gittern</li> <li>• Atominterferometrie und Frequenzstandards</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Atomoptik“, 2 SWS Übung „Atomoptik“, 1 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> Atom- und Molekülphysik, Quantenoptik	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgaben	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur 90-120 min	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ B. Bransden, C. Joachain, Physics of Atoms and Molecules, Longman 1983</li> <li>☒ R. Loudon, The Quantum Theory of Light, OUP, 1973</li> <li>☒ Aktuelle Publikationen</li> </ul>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. Silke Ospelkaus-Schwarzer	

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

<b>Experimental Atomic Physics</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 150 h   Davon Präsenzzeit: 60 h   Davon Selbststudium: 90 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> 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.	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Experimental Methods in Atomic Physics“, 2 SWS Übung „Experimental Methods in Atomic Physics“, 1 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> Atom- und Molekülphysik, Kohärente Optik	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> Teilnahme an Übung/Präsentation/Lösung der Übungszettel	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min oder Klausur	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> ☒ 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	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Quantenoptik (IQO), LUH	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. Ernst Maria Rasel	

<b>Computational Photonics</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 6	<b>Häufigkeit des Angebots</b> SoSe	<b>Sprache</b> Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 150h		Davon Präsenzzeit: 56 h
Davon Selbststudium: 94 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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"> <li>• Probleme in der modernen und nichtlinearen Optik zu verstehen</li> <li>• Prinzipien der numerischen Modellierung und Implementierung anzuwenden</li> <li>• Methoden der Softwareentwicklung umzusetzen</li> <li>• Fragestellungen der Computerorientierten Photonik selbständig zu lösen</li> </ul>	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> 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"> <li>• 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)</li> <li>• Lichttransport in trüben Medien</li> <li>• Photoakustik</li> <li>• Matrix-Optik</li> <li>• Impulsausbreitungsgleichungen</li> <li>• Atome in starken optischen Feldern (Schrödingergleichung für Atome, Higher-Harmonic Generation, Brunel/THz-Strahlung, Attosekundenoptik)</li> <li>• Computermodellierungsmethoden in der Elektromagnetik (Zeitbereichslöser, Frequenzbereichsmethoden, Finite-Elemente-Methoden)</li> <li>• Monte-Carlo-Verfahren</li> <li>• Spektrale und pseudospektrale Methoden</li> <li>• Runge-Kutta- und Operator-Splitting-Verfahren</li> <li>• Paralleles Rechnen (openMP, openMPI)</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Computational Photonics“, 2 SWS Übung „Computational Photonics“, 1 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> Erfahrung mit dem Computer und Grundlagen der Programmierung.	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<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.	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> ☒ 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	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	

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

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

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

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

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

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

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

<b>Single Photon Sources – from basics to applications</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> Ab WiSe 2023/24 jedes WiSe	<b>Sprache</b> Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 42 h
Davon Selbststudium: 108 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantum optics in a nutshell – a review</li> <li>• Photon statistics – basic concepts</li> <li>• Generation of single photons – current progress and challenges</li> <li>• Solid-state single photon emitters</li> <li>• Applications of single photon sources – quantum communication, computation and metrology</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Single Photon Sources“, 3 SWS Übung „Single Photon Sources“, 1 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> Prior knowledge in quantum mechanics	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> Übungsaufgabe, Vorträge	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Schriftliche 9-120 min oder mündliche 30 min Prüfung	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> Vorlesungsnotizen des Dozenten; Primärliteratur Artur Ekert – “Introduction to Quantum Information” Scott Aaronson – “Introduction to Quantum Information Science” Mark Fox – “Quantum optics: An introduction”	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Festkörperphysik (FKP), LUH	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. Fei Ding und Prof. Dr. Ilja Gerhardt	

<b>Applied photonic quantum technologies</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> SoSe	<b>Sprache</b> Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 150 h   Davon Präsenzzeit: 60 h   Davon Selbststudium: 90 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Understand different approaches for photonic quantum systems</li> <li>• Know basic experimental techniques used to realize and characterize photonic quantum systems <ul style="list-style-type: none"> <li>○ fabrication of photonic quantum devices</li> <li>○ experimental photonic setups</li> <li>○ general measurement and characterization techniques</li> </ul> </li> <li>• Be proficient in basic concepts of QIP <ul style="list-style-type: none"> <li>○ representation of information in qu(antum)bits</li> <li>○ manipulation and read-out of information stored in qubits</li> </ul> </li> <li>• Understand the use in applications scenarios <ul style="list-style-type: none"> <li>○ know basic examples of quantum information processing</li> <li>○ know basic examples of quantum communications</li> </ul> </li> <li>• Know principles of quantum-enhanced measurements</li> </ul>	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> The content of the lecture will encompass the fundamentals of photonic quantum technologies and their applications in sensing systems, quantum communication devices and quantum operations. The lecture will start with quantum light characteristics, qubit implementations, and continue with quantum light sources, quantum light control and photonic gates, and to the end discuss the applications for entanglement creation and measurement, quantum teleportation, entanglement swapping, super-dense coding, quantum algorithms and quantum sensing.	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Lecture „ Applied photonic quantum technologies “, 3 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Mündliche Prüfung 30 min	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> - Mark Fox, Quantum Optics: An Introduction, Oxford Univ. Press (2006) - Hans-A. Bachor and Timothy C. Ralph, A Guide to Experiments in Quantum Optics, Wiley 2004. - Leonard Mandel and Emil Wolf, Optical coherence and quantum optics, Cambridge Univ. Pres 1995.	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Quantenoptik, LUH	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. Michael Kues	

## Bereich Engineering (TUBS)

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

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

<b>Advanced Quantum Technologies for Engineers</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> SoSe	<b>Sprache</b> Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 42 h
Davon Selbststudium: 108 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b> TUBS		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> 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]	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Advanced Quantum Technologies for Engineers“, 2 SWS Übung „Advanced Quantum Technologies for Engineers“, 1 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> written exam, 120 minutes or oral examination 30 minutes	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> ---	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Halbleitertechnik, TUBS	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Waag	

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

<b>Grundlagen der Nanooptik</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 150 h   Davon Präsenzzeit: 42 h   Davon Selbststudium: 108 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b> TUBS		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundkonzepte (Photonische Kristalle, Plasmonik)</li> <li>• Herstellung und Charakterisierung (Metrologie) von Nanostrukturen • Leistungsmodule, besondere Anforderungen</li> <li>• Photonische Nanomaterialien / Metamaterialien / Metaoberflächen</li> <li>• Optische Nanoemitter und Nanoantennen</li> <li>• Aktive photonische Elemente</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Grundlagen der Nanooptik“, 2 SWS Übung „Grundlagen der Nanooptik“, 1 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Prüfung 120 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Novotny, Hecht: Principles of nano-optics, Cambridge University Press 2016</li> <li>☒ Prasad: Nanophotonics, John Wiley &amp; Sons 2004</li> <li>☒ Jahns, Helfert: Introduction to Micro- and Nanooptics, Wiley VCH 2012</li> </ul>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Angewandte Physik, TUBS	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr. Stefanie Kroker	

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

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

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

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

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

<b>Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 6	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 180 h   Davon Präsenzzeit: 56 h   Davon Selbststudium: 124 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b> TUBS		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Theorie der zeitharmonischen elektromagnetischen Felder (Maxwellsche Gleichungen, Wellengleichungen, Energiesatz, Eindeutigkeitssatz, Reziprozität)</li> <li>• Berechnungsverfahren (Vektorpotentiale, Lorenz-Eichung, Lösung der (in)homogenen Wellengleichung, Quellintegrale, Greensche Funktion)</li> <li>• Eigenwellen von Wellenleitern, Oberflächenwellen, Leckwellen</li> <li>• Strahlungsfelder (Huygens-Prinzip, Bildtheorie, Fresnel- und Fraunhofer-Näherung)</li> <li>• Einführung in die numerische Berechnung elektromagnetischer Probleme: (FDTD, Momentenmethode, Eigenwellenentwicklung)</li> <li>• Exemplarische Implementierung von Lösungsverfahren in Matlab oder Python</li> <li>• Berechnung elektromagnetischer Strukturen mit kommerzieller 3D-EM-Software</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik“, 2 SWS Übung „Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik“, 2 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten oder Hausarbeit oder VbP ( Semesterprojekt)	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Harrington, Time-harmonic Electromagnetic Fields, Wiley &amp; Sons, ISBN 047120806X</li> <li>☒ Unger, Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik I + II, Hüthig, ISBN 377851573X, ISBN 3778515748</li> <li>☒ Pozar, Microwave Engineering, Wiley &amp; Sons, ASIN B001QA4I9C</li> </ul>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr.-Ing. Jörg Schöbel	

<b>Informationstheorie</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 5	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe	<b>Sprache</b> Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 150 h		Davon Präsenzzeit: 42 h
Davon Selbststudium: 108 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b> TUBS		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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).	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> Grundbegriffe aus der Wahrscheinlichkeitstheorie • Ereignis, Wahrscheinlichkeit, Zufallsgröße, Zufallsvektor, zufälliger Prozess, Konvergenz zufälliger Folgen, Konvergenzsätze Grundbegriffe aus der Informationstheorie • 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 • Definition und Eigenschaften • Quellencodierung für diskrete gedächtnislose Quellen (feste und variable Länge) • Ausgewählte Quellencodes: Morse, Huffman, Shannon-Fano-Elias Datenübertragung und Kanalkapazität • Diskreter gedächtnisloser Kanal: Kanalcodierungstheorem • Diskreter gedächtnisloser Kanal mit Zustand: Kanalkapazitäten • Gaußkanal: Modell und Kanalcodierungstheorem • Bandbegrenzter Gaußkanal, Vektorwertige Gaußkanäle	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Informationstheorie“, 2 SWS Übung „Informationstheorie“, 2 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Klausur 90 Min oder mündliche Prüfung 30 Min	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> ☒ 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, <a href="https://moser-isi.ethz.ch/scripts.html#it">https://moser-isi.ethz.ch/scripts.html#it</a>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	

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

<b>Antennen und Strahlungsfelder</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 6	<b>Häufigkeit des Angebots</b> SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 180 h   Davon Präsenzzeit: 56 h   Davon Selbststudium: 124 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b> TUBS		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maxwell'sche Theorie und Berechnungsverfahren (Wellengleichungen, Lösung der inhomogenen Wellengleichung, Quellintegrale, Huygens-Prinzip, Bildtheorie, Hertz'scher Dipol)</li> <li>• Einfache Antennenformen, Antennenkenngößen</li> <li>• Gruppenantennen und Beamforming, Synthese von Antennenpattern</li> <li>• Aperturantennen, Fouriertransformation, Horn- und Schlitzstrahler, Parabolantennen, Physical Optics</li> <li>• Wellenausbreitung, Beugungsgrenzen freier Ausbreitung, statische Modelle, Radarquerschnitt</li> <li>• Antennen- und RCS-Messtechnik</li> <li>• Moderner Stand der Technik und aktuelle Forschung</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Antennen und Strahlungsfelder“, 2 SWS Übung „Antennen und Strahlungsfelder“, 2 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> Mathematik, Elektromagnetische Felder, Grundlagen der Informationstechnik, Leitungstheorie	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten oder Hausarbeit	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Unger, Hochfrequenztechnik in Funk und Radar, Teubner-Verlag, ISBN 3519300184</li> <li>☒ Unger, Elektromagnetische Theorie für die - Hochfrequenztechnik, Hüthig-Verlag, ISBN 377851573X</li> <li>☒ Pozar, Microwave Engineering, Wiley, ASIN B001QA419C</li> </ul>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Hochfrequenztechnik, TUBS	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof. Dr.-Ing. Jörg Schöbel	

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

<b>Digitale Messdatenverarbeitung mit Mikrorechnern mit Praxis</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Wahlpflicht
<b>Leistungspunkte</b> 6	<b>Häufigkeit des Angebots</b> SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 1. Semester oder 2. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b> Gesamt: 180 h   Davon Präsenzzeit: 70 h   Davon Selbststudium: 110 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b> TUBS		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistische Behandlung von Messdaten,</li> <li>• Interpolation von Messdaten,</li> <li>• Signalanalyse: diskrete (DFT) und schnelle (FFT) Fourier-Transformation</li> <li>• z-Transformation: digitale Filter, Korrelation, Simulation eines geschlossenen Regelkreises,</li> <li>• Regler und Regelstrecke als IIR- und FIR-Filter.</li> <li>• Assemblersprache von Mikroprozessoren</li> <li>• Implementierung der Algorithmen der digitalen Signalverarbeitung in Assembler und C</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Vorlesung „Digitale Messdatenverarbeitung mit Mikrorechnern“, 2 SWS Übung „Digitale Messdatenverarbeitung mit Mikrorechnern“, 1 SWS Praxisanteil, 2 SWS	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> mündliche Prüfung 30 min (Schriftliche Klausur 120 min nur bei sehr großen Teilnehmerzahlen)	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Weber, H.: Laplace Transformation, Teubner Verlag, Stuttgart, 1984, ISBN 978-3519001416</li> <li>☒ Doetsch, G.: Anleitung zum praktischen Gebrauch der Laplace-Transformation und der z-Transformation, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1985, ISBN 978-3486298451</li> <li>☒ Stearns, S.D.: Digitale Verarbeitung analoger Signale, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1979, ISBN 978-3486245288</li> <li>☒ Birk, H.; Swik, R.: Mikroprozessoren und Mikrorechner und ihre Anwendung in der Automatisierungstechnik, Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1983, ISBN 978-3486244328</li> </ul>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> Lehrveranstaltung der TUBS, nach Bedarf Hybrid	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik, TUBS	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Prof.Dr.rer.nat. Meinhard Schilling	

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

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

## Masterarbeit und Forschungsphase

<b>Forschungspraktikum / Projektplanung</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Pflicht
<b>Leistungspunkte</b> 30 LP	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe/SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 3. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 900 h		Davon Präsenzzeit: -
Davon Selbststudium: 900 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
M. Sc. Physik, M. Sc. Meteorologie		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Literaturrecherche</li> <li>• Einarbeitung in theoretische Verfahren bzw. experimentelle Verfahren</li> <li>• Diskussion von Problemstellungen aktueller Forschung im Arbeitsgruppenseminar</li> <li>• Definition einer wissenschaftlichen Problemstellung</li> <li>• Methoden des Projektmanagements</li> <li>• Erstellung, Vorstellung und Diskussion eines Projektplans</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> Praktikum „Forschungspraktikum“ Projekt „Projektplanung für die Masterarbeit“ Seminar „Arbeitsgruppenseminar“	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> ---	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> Fortgeschrittene Vertiefungsmodule des jeweiligen Masterstudiengangs	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> Seminarleistung	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> -	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>☒ Aktuelle Literatur zum jeweiligen Forschungsbereich</li> <li>☒ Alley, The Craft of Scientific Presentation, Springer</li> <li>☒ Stickel-Wolf, Wolf, Wissenschaftliches Arbeiten und Lerntechniken, ISBN: 3-409-31826-7, Gabler Verlag</li> <li>☒ Steinle, Bruch, Lawa, (Hrsg.), Projektmanagement: Instrument moderner Dienstleistung, 1995, ISBN 3-929368-27-7, FAZ</li> <li>☒ Little, (Hrsg.), Management der Hochleistungsorganisation, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1990</li> </ul>	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Versch. Fakultäten	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> Studiendekan/in	

<b>Masterarbeit</b>		<b>Kennnummer/Prüfcode</b>
<b>Master Quantum Engineering</b>		<b>Modultyp</b> Pflicht
<b>Leistungspunkte</b> 30	<b>Häufigkeit des Angebots</b> WiSe/SoSe	<b>Sprache</b> Deutsch / Englisch
<b>Kompetenzbereich</b> ---	<b>Empfohlenes Fachsemester</b> 4. Semester	<b>Moduldauer</b> 1 Semester
<b>Studentische Arbeitsbelastung</b>		
Gesamt: 900 h		Davon Präsenzzeit: -
Davon Selbststudium: 900 h		
<b>Weitere Verwendung des Moduls</b>		
M. Sc. Physik, M. Sc. Meteorologie		
<b>1</b>	<b>Qualifikationsziele</b> 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.	
<b>2</b>	<b>Inhalte des Moduls</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbstständige Bearbeitung einer aktuellen wissenschaftlichen Problemstellung in einem internationalen Forschungsumfeld</li> <li>• Schriftliche Dokumentation und mündliche Präsentation des Forschungsprojekts und der Ergebnisse</li> <li>• Wissenschaftliche Diskussion der Ergebnisse</li> </ul>	
<b>3</b>	<b>Lehrformen und Lehrveranstaltungen</b> ---	
<b>4a</b>	<b>Teilnahmevoraussetzungen</b> Forschungspraktikum/Projektplanung und mind. 40 Leistungspunkte	
<b>4b</b>	<b>Empfehlungen</b> ---	
<b>5</b>	<b>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten</b>	
	<i>Studienleistungen:</i> -	
	<i>Prüfungsleistungen:</i> Schriftliche Ausarbeitung der Masterarbeit	
<b>6</b>	<b>Literatur</b> <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.	
<b>7</b>	<b>Weitere Angaben</b> ---	
<b>8</b>	<b>Organisationseinheit</b> Versch. Fakultäten	
<b>9</b>	<b>Modulverantwortliche/Modulverantwortlicher</b> 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.

## Weitere Angebote und Ansprechpartner für Studieninformation und –beratung

Viele Fragen zum Studium sollten sich durch Lektüre dieses Modulkatalogs klären lassen. Es gibt aber auch Fragen, die im Beratungsgespräch am einfachsten zu beantworten sind. Dafür stehen Ihnen die folgenden Personen und Einrichtungen zur Verfügung.

In diesem Kapitel werden außerdem weitere Institutionen und Einrichtungen vorgestellt, die Angeboten für Studierende der Leibniz Universität Hannover zur Verfügung stellen.

### Ansprechpartner innerhalb der Fakultät für Mathematik und Physik

#### Studienorganisation

Informationen zur Studienorganisation finden Sie in dieser Broschüre, in der aktuellen Prüfungsordnung und unter [www.maphy.uni-hannover.de/de/studium](http://www.maphy.uni-hannover.de/de/studium).

Bei individuellen Fragen und Problemen können Sie sich an die Studiengangskoordination wenden. Die **Studiengangskoordination** ist die zentrale Anlaufstelle in Studienangelegenheiten. Sie fungiert als kommunikative und organisatorische Schnittstelle zwischen Studierenden und Lehrenden. Die Studiengangskoordination ist damit insbesondere für die Beratung von Studierenden zuständig.

#### Studiengangskoordination

Dipl.-Ing. Axel Köhler (Raum A121)	Tel: 762- 5450
Dipl.-Soz.Wiss Miriam Redlich (Raum A102)	Tel: 762- 19367
Dr. Katrin Radatz (Raum A122)	Tel: 762- 14594
Appelstraße 11A, 30167 Hannover	<a href="mailto:sgk@maphy.uni-hannover.de">sgk@maphy.uni-hannover.de</a>

#### Fachstudienberatung

Eine individuelle Studienberatung wird grundsätzlich von allen Professorinnen und Professoren angeboten. Darüber hinaus stehen zentrale Fachberater zur Verfügung. Eine Fachstudienberatung sollte besonders in den folgenden Fällen in Anspruch genommen werden:

- vor der Wahl von Studienschwerpunkten, Prüfungsfächern und dem Arbeitsgebiet für die Bachelor- oder Masterarbeit
- bei der Planung eines Studiums im Ausland
- nach nicht bestandenen Prüfungen
- bei Studienfach-, Studiengangs- oder Hochschulwechsel.

Die aktuellen Sprechstunden der Fachberaterinnen und Fachberater lassen sich meistens im Internet finden oder können telefonisch, per Post oder per E-Mail erfragt werden.

<b>Prof. Dr. Piet Oliver Schmidt</b> Welfengarten 1 (Raum D123) 30167 Hannover	<i><a href="mailto:piet.schmidt@quest.uni-hannover.de">piet.schmidt@quest.uni-hannover.de</a></i> Tel.: 0511-762-17646
--	---

## BAföG-Beauftragter

Wenn Sie BAföG beziehen, müssen Sie wahlweise nach dem 3. oder 4. Semester eine Bescheinigung der Fakultät vorlegen, dass Sie in Regelzeit studieren. Wenden Sie sich hierzu an den BAföG-Beauftragten:

**Prof. Dr. E. Jeckelmann**  
Appelstraße 2 (Raum 225)  
30167 Hannover

Tel. 0511-762-3661  
[eric.jeckelmann@itp.uni-hannover.de](mailto:eric.jeckelmann@itp.uni-hannover.de)

## Fachschaft Mathematik und Physik

[www.fsr-maphy.uni-hannover.de](http://www.fsr-maphy.uni-hannover.de)

Erfahrungsgemäß erhalten Studierende viele Informationen am schnellsten von Mitstudierenden aus dem gleichen oder höheren Semester. Die Fachschaft bietet Kontaktmöglichkeiten zu Ansprechpartnerinnen und -partnern, die in den meisten Fällen - vor allem aufgrund ihrer eigenen Studienerfahrung - viele Fragen klären oder an die jeweils zuständige Beratungsstelle verweisen können. Die jeweils aktuellen Ansprechpartnerinnen und -partner sind im Internet zu finden.

Die hauptsächliche Aufgabe des Fachschaftsrats ist die Vertretung der studentischen Interessen in den Gremien der Fakultät. So wirkt er über die studentischen Vertreter/innen z.B. bei der Gestaltung der Prüfungsordnungen mit und kann bei der Neueinstellung von Professorinnen und Professoren in den Berufungskommissionen mitentscheiden. Er wirkt aber auch in fakultätsübergreifenden Gremien mit.

Darüber hinaus bietet die Fachschaft auch folgendes an:

- Orientierungseinheiten und gemeinsames Frühstück für alle Studienanfängerinnen und -anfänger in der ersten Woche vor dem Beginn des Wintersemesters
- Kennenlern-Freizeit am Wochenende für Studierende im ersten Semester
- Beratung zu den Mathematik-, Physik-, und Meteorologiestudiengängen
- Hilfe bei Problemen im Studium / mit Dozenten/-innen / Vorlesungsstruktur
- Arbeitsräume mit einer kleinen Lehrbuchsammlung
- eine Sammlung von Klausuren und Prüfungsprotokollen der letzten Jahre
- Erstsemesterparty in der ersten OE-Woche
- die Fachschaftszeitung Physemathenten
- ein Fußballteam in dem alle interessierten Studierenden der Fakultät mitspielen können
- das Grillfest alle zwei Jahre
- „Zahlendre3her“ Partys
- Erstsemesterparty zum Kennenlernen in der OE-Woche.
- Regelmäßige Spieleabende sowie eine große Spielesammlung der Fachschaft

Fachschaft Mathematik / Physik  
Welfengarten 1 (Raum d 414)  
30167 Hannover

[info@fsr-maphy.uni-hannover.de](mailto:info@fsr-maphy.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511-762-7405

Wer selbst einmal Lust hat, Ansprechpartner zu werden, ist von der Fachschaft herzlich eingeladen, einfach an einer Sitzung des Fachschaftsrates teilzunehmen. Die Sitzungen sind im Semester immer montags um 18.15 Uhr im Fachschaftsraum. Da es sich beim Fachschaftsrat um einen offenen Rat handelt, ist jeder Studierender der Fakultät auf den Sitzungen stimmberechtigt. Dies gilt für alle Abstimmungen, die sich nicht mit Finanzen oder Änderungen der Geschäftsordnung befassen.

### Prüfungsausschuss

Der Ablauf des Studiums, insbesondere die zu erbringenden Leistungen, wird durch die jeweiligen Prüfungsordnungen geregelt (siehe. Anhang). Der Prüfungsausschuss achtet darauf, dass die Bestimmungen der Prüfungsordnung eingehalten werden. Er entscheidet über Fragen der Anerkennung von Leistungen wie auch bei Widerspruchsverfahren. Ein Anliegen für den Prüfungsausschuss wird in der Regel direkt an den Vorsitzenden des Prüfungsausschusses gerichtet.

**Prof. Dr. Christian Ospelkaus**  
(Vorsitzender)  
Welfengarten 1 (Raum D123)  
30167 Hannover

Tel. 0511-762-2231

[christian.ospelkaus@iqo.uni-hannover.de](mailto:christian.ospelkaus@iqo.uni-hannover.de)

## Zentrale Ansprechpartner

**Service Center** [www.uni-hannover.de/servicecenter](http://www.uni-hannover.de/servicecenter)

Das Service Center der Leibniz Universität Hannover ist die zentrale Anlaufstelle für Studierende und Studieninteressierte. Hier arbeiten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus verschiedenen zentralen Einrichtungen der Universität, die Fragen rund um das Studium beantworten, bei Problemen helfen und die Orientierung an der Leibniz Universität Hannover erleichtern. Während der Öffnungszeiten stehen Mitarbeiter folgender Bereiche zur Beratung zur Verfügung:

- Akademisches Prüfungsamt
- BAFöG-Beratung
- Hochschulbüro für Internationales
- Immatrikulationsamt
- Psychologisch Therapeutische Beratung
- Zentrale Studienberatung

Kontakt: ServiceCenter  
Leibniz Universität Hannover  
Welfengarten 1  
30167 Hannover  
Öffnungszeiten:

[studium@uni-hannover.de](mailto:studium@uni-hannover.de)

Tel.: 0511-762-2020

Mo. – Do.: 10.00 – 17.00 Uhr

Fr. und vor Feiertagen 10.00 – 15.00 Uhr

## Zentrale Studienberatung (ZSB)

[www.zsb.uni-hannover.de](http://www.zsb.uni-hannover.de)

Die Zentrale Studienberatung ist Anlaufstelle für alle Studierenden der Hochschulen Hannovers. Es gibt verschiedenen Beratungsformen:

- Kurzberatung: Kurze Erstinformationsgespräche (Dauer: bis zu 10 Minuten) in der Infothek des ServiceCenter im Hauptgebäude (Mo.- Fr. 10.00 bis 13.00 Uhr)
- Offene Sprechstunde: Einzelberatung in vertraulicher Atmosphäre ohne vorherige Terminvereinbarung. Anmeldung in der Infothek im ServiceCenter (Do. 14.30–17.00)
- Nach Terminvereinbarung über die Servicehotline der Leibniz Universität Hannover (0511-762-2020): Einzelberatung in vertraulicher Atmosphäre

Die Beratung erfolgt zu allen Fragen und Problemen, die in engerem oder weiterem Zusammenhang mit dem Studium stehen; so z.B. bei:

- Studienfachwechsel
- Hochschulwechsel
- Prüfungsproblemen
- berufliche Perspektiven nach dem Studium

Zentrale Studienberatung  
Welfengarten 1  
30167 Hannover

Tel.: 0511-762-2020

[studienberatung@uni-hannover.de](mailto:studienberatung@uni-hannover.de)

Akademisches Prüfungsamt

[www.uni-hannover.de/pruefungsamt](http://www.uni-hannover.de/pruefungsamt)

Die Prüfungen in den Bachelor- und Masterstudiengängen werden im zentralen Akademischen Prüfungsamt der Universität in Zusammenarbeit mit dem für den jeweiligen Studiengang zuständigen Prüfungsausschuss bzw. Studiendekanat organisiert.

Das Prüfungsamt übernimmt insbesondere folgende Aufgaben:

- Prüfungsanmeldungen / Zulassung
- Prüfungsrücktritte (z.B. infolge Krankheit)
- Zentrale Erfassung von Prüfungsergebnissen
- Ausstellen von Bescheinigungen, z.B. für Kindergeld
- Erstellen von Notenspiegeln für Bewerbungen oder beim Fach- oder Hochschulwechsel
- Erstellen von Zeugnissen und Urkunden

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Akademischen Prüfungsamtes beraten gerne in allen Prüfungsangelegenheiten. Bitte wenden Sie sich an die folgenden Adressen:

Zentrale Servicehotline:

Tel.: 0511-762-2020

Fax.: 0511-762-2137

[studium@uni-hannover.de](mailto:studium@uni-hannover.de)

Innerhalb des Prüfungsamtes gibt es zurzeit die folgende Zuständigkeit für den Studiengang:

Masterstudiengang Quantum Engineering

**Torsten Flenner**

Welfengarten 1 (Raum f 311)

30167 Hannover

[Torsten.Flenner@zuv.uni-hannover.de](mailto:Torsten.Flenner@zuv.uni-hannover.de)

Studieren im Ausland

Die Leibniz Universität bietet zahlreiche Möglichkeiten einen Teil des Studiums im Ausland zu absolvieren. Zu diesen Möglichkeiten beraten der Auslandsbeauftragte der Fakultät sowie das Hochschulbüro für Internationales.

**Auslandsbeauftragter der Fakultät:**

Dipl.-Ing. Axel Köhler  
Appelstr. 11A (Raum A121)  
30167 Hannover

[sgk@maphy.uni-hannover.de](mailto:sgk@maphy.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511-762-5450

Mariana Stateva-Andonova  
Appelstr. 11A (Raum A120)  
30167 Hannover

[studiensekretariat@maphy.uni-hannover.de](mailto:studiensekretariat@maphy.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511-762-4466

## Hochschulbüro für Internationales

[www.uni-hannover.de/de/universitaet/internationales/](http://www.uni-hannover.de/de/universitaet/internationales/)

Das Hochschulbüro für Internationales bietet Informationen und Service zu Studien- und Forschungsmöglichkeiten im Ausland. Es betreut die Austauschprogramme der Leibniz Universität Hannover und berät zu Stipendien und Fördermöglichkeiten. Im Service Center der Universität stehen Mitarbeiter des Hochschulbüros für Internationales für weitergehende Fragen rund um ein Auslandsstudium zur Verfügung.

An der Fakultät wird zurzeit vor allem das Erasmus-Programm genutzt. Im Zuge des Erasmus-Programms der EU sind zahlreiche Universitäten in ganz Europa Partnerschaften zum gegenseitigen Studierendenaustausch eingegangen. Erbrachte Leistungen werden gegenseitig anerkannt. Es müssen an der Partnerhochschule keine Studiengebühren bezahlt werden.

## Ombudsperson der Universität

[www.uni-hannover.de/ombudsperson-studium](http://www.uni-hannover.de/ombudsperson-studium)

Das Amt der Ombudsperson zur Sicherstellung guter Studienbedingungen dient als Anlaufstelle und Ansprechpartner für Studierende, die allgemeine oder individuelle Probleme, Beschwerden oder Verbesserungsvorschläge bezüglich ihres Studiums und der Lehre haben. Ombudsperson ist Prof. Dr. Stephan Kabelac.

## Kontakt über:

Rebecca Gora  
Callinstraße 24  
30167 Hannover

[ombudsperson@studium.uni-hannover.de](mailto:ombudsperson@studium.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511-762 - 5446

Postfach 172 (links neben dem  
Haupteingang des Hauptgebäudes)

## Coaching-Service und Psychologisch-Therapeutische Beratung für Studierende (ptb)

Manchmal lassen die Freude und Begeisterung über das eigene Studium im Laufe der Zeit nach. Durch die zunehmenden Anforderungen, die sowohl das Studium als auch die neue Eigenständigkeit mit sich bringen, kann der Stress zu viel werden. Ohne, dass es einem bewusst ist, kommt man mit der Situation nicht mehr zurecht.

Mit Hilfe des speziell auf Sie zugeschnittenen Beratungsservice der Psychologisch-Therapeutischen Beratung (ptb) können Sie lernen, Ihre Wege zur Lösung zu finden.

Termin vereinbaren:

Theodor-Lessing-Haus  
Welfengarten 2c  
30167 Hannover  
[www.ptb.uni-hannover.de](http://www.ptb.uni-hannover.de)

Tel. 0511-762 – 3799

[info@ptb.uni-hannover.de](mailto:info@ptb.uni-hannover.de)

## Weitere Angebote

### Bibliotheken

[www.tib.eu](http://www.tib.eu)

In Hannover befindet sich die Technische Informationsbibliothek (TIB) – Leibniz-Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften und Universitätsbibliothek direkt neben dem Hauptgebäude der Universität. Die TIB ist die Deutsche Zentrale Fachbibliothek für Technik/Ingenieurwissenschaften und deren Grundlagenwissenschaften, insbesondere Chemie, Informatik, Mathematik und Physik. Dies bedeutet, dass kein Standort in Deutschland vom Literaturbestand her für ein Studium dieser Fachgebiete besser ausgestattet ist. Außerdem gibt es Institutsbibliotheken. Mit der kostenlosen HOBSY-Bibliothekskarte können alle Studierenden nicht nur in TIB, sondern auch in den Standorten der Stadtbibliothek Bücher ausleihen.

### Leibniz Universität IT Services (LUIS)

[www.luis.uni-hannover.de](http://www.luis.uni-hannover.de)

Hier werden regelmäßig Kurse zum Umgang mit Programmiersprachen und Betriebssystemen angeboten (z.B. Linux, WINDOWS, C, JAVA usw.). Des Weiteren wird auch eine Reihe von Handbüchern zum Selbststudium herausgegeben (RRZN-Handbücher für staatliche Hochschulen).

### Das Leibniz Language Centre (ehemals Fachsprachenzentrum)

[www.llc.uni-hannover.de/de/](http://www.llc.uni-hannover.de/de/)

Das Fachsprachenzentrum bietet für Studierende kostenlose Sprachkurse an. Für Studierende der Physik sind gute Englischkenntnisse nicht nur für den späteren Beruf unersetzlich, sondern bereits im Studium wichtig, da viele grundlegende Lehrbücher in englischer Sprache herausgegeben werden.

Um die vorhandenen Englischkenntnisse für das Studium auszubauen, eignet sich zum Beispiel Englisch für Physik und Mathematik. Des Weiteren werden Grammatikkurse, Vorbereitungskurse für Auslandsaufenthalte und Beruf sowie Kurse für wissenschaftliche Kommunikation und Argumentation angeboten. Selbstverständlich gibt es auch Kurse für diverse andere Sprachen.

## ZQS/Schlüsselkompetenzen: Bausteine für Erfolg in Studium und Beruf

Um in Studium, Praktikum und Berufsleben erfolgreich sein zu können, sind neben dem Fachwissen weitere Kompetenzen gefragt. Dazu zählen unter anderem Lernstrategien und Arbeitstechniken, ausgeprägte Kommunikations- und Präsentationsfähigkeiten, ein souveräner Umgang mit Konflikten im Team oder auch interkulturelle Kompetenzen.

Entscheidend für den Berufseinstieg sind darüber hinaus klare berufliche Ziele, Praxiserfahrungen, Kontakte zu Arbeitgebern sowie eine überzeugende Bewerbung.

Die ZQS/Schlüsselkompetenzen unterstützt Sie u.a. mit:

- Seminare zu Schlüsselkompetenzen mit Leistungspunkten
- Beratung und Workshops rund um Lern- und Arbeitstechniken sowie zum wissenschaftlichen Schreiben von Haus- und Abschlussarbeiten
- BrainBox – Medienkompetenz Social Media
- Echte Praxisprojekte in Unternehmen und Grundlagen des Projektmanagements
- Beratung und Workshops zu Bewerbung, Praktikum und Berufseinstieg
- Job Shadowing – Ein Tag im Unternehmen „schnuppern“
- Mentoring – Begleitung für den Berufseinstieg
- Firmenkontaktmesse Career Dates
- Praktika- und Stellenbörse Stellenticket

Weitere Informationen unter: [www.sk.uni-hannover.de](http://www.sk.uni-hannover.de)

## Studieren und leben in Hannover

In diesem Abschnitt sollen einige wenige Aspekte des studentischen Lebens aufgeführt werden. Ausführlichere Informationen gibt es in der Broschüre *Studieren in Hannover* vom Studentenwerk, in der Broschüre *Fragezeiten* der Zentralen Studienberatung sowie auf den Internetseiten von Universität und Studentenwerk Hannover.

[www.uni-hannover.de](http://www.uni-hannover.de)

[www.studentenwerk-hannover.de](http://www.studentenwerk-hannover.de)

## Wohnen

Ob eigene Wohnung, WG oder Wohnheimplatz – die Suche nach vier Wänden ist für viele der erste Schritt ins Studium. Die vielen schwarzen Bretter z.B. im Lichthof im Hauptgebäude der Uni oder den Mensen sind wichtige Anknüpfungspunkte, wenn man eine Wohnung oder WG sucht. Des Weiteren findet man Angebote in den Hannoverschen Tageszeitungen oder man fragt bei der Privatwohnraumvermittlung des Studentenwerks nach. Infos über die diversen Studierendenwohnheime erhält man in der Wohnheimverwaltung des Studentenwerks.

[www.studentenwerk-hannover.de/wohnen.html](http://www.studentenwerk-hannover.de/wohnen.html)

Daneben gibt es auch noch einige Wohnheime anderer Träger, es lohnt sich, nachzuforschen.

Auch der AStA hat einen Informationsflyer "Wohnen in Hannover" [www.asta-hannover.de](http://www.asta-hannover.de)

## Essen und Trinken

In der Hauptmensa kann man aus einer Auswahl von bis zu 10 Gerichten wählen. Die Hauptmensa zählte in diversen Untersuchungen in den Bereichen Qualität, Preis und Auswahl immer wieder zu den besten Mensen Deutschlands. Des Weiteren gibt es für den kleinen Hunger acht Cafeterien an den verschiedenen Universitätsstandorten. Die Cafeteria "Sprengelestube" im Hauptgebäude bietet sich auch zum Aufenthalt zwischen den Vorlesungen an.

[www.studentenwerk-hannover.de/essen.html](http://www.studentenwerk-hannover.de/essen.html)

## Verkehr

Mit dem Semesterticket können Studierende die öffentlichen Verkehrsmittel in der Region Hannover und fast alle Nahverkehrszüge in Niedersachsen nutzen. Da der größte Teil der Radwege in einem guten Zustand ist, kommen viele Studierende mit dem Fahrrad zur Universität. Im Semesterbeitrag ist ein geringer Beitrag enthalten, der für die Fahrradwerkstätten verwendet wird, in denen man Fahrräder kostenlos reparieren lassen kann. Nähere Informationen zum Semesterticket und Fahrradwerkstätten sind beim AStA zu bekommen.

[www.asta-hannover.de](http://www.asta-hannover.de)

## Hochschulsport

Der Hochschulsport ist ein Angebot an alle Studierenden, gemeinsam Sport zu treiben, sich zu bewegen und vom Uni-Stress zu erholen. Die verschiedenen Kurse von Aikido über Basketball und Leichtathletik bis Yoga sind überwiegend kostenlos für Studierende oder deutlich billiger als in den meisten Sportvereinen. Zu Beginn jedes Semesters wird das Sportprogramm herausgegeben, aus dem man Kurse auswählen kann. Auch in der vorlesungsfreien Zeit werden Kurse angeboten. Das Sportprogramm ist beim Sportzentrum als Broschüre, aber auch im Internet erhältlich.

[www.hochschulsport-hannover.de](http://www.hochschulsport-hannover.de)

## Finanzielles und Soziales

In jedem Semester müssen alle Studierenden einen Semesterbeitrag bezahlen. Dieser wird vor allem für das Semesterticket, den "Verwaltungskostenbeitrag" und das Studentenwerk bezahlt. Seit dem WS 2014/15 werden keine Studiengebühren erhoben.

Sofern das Studium länger als die Regelstudienzeit plus weitere vier Semester dauert, sind jedes Semester sogenannte Langzeitstudiengebühren zu zahlen, wobei es z.T. Ausnahmeregelungen gibt. Der Betrag erhöht sich mit der Länge des Studiums. Hierüber informiert das Immatrikulationsamt.

Beratung zum BAFöG bietet die BAFöG-Abteilung des Studentenwerks Hannover und die BAFöG- und Sozialberatung im AStA.

[www.studentenwerk-hannover.de/bafoeg-und-co.html](http://www.studentenwerk-hannover.de/bafoeg-und-co.html)

[www.asta-hannover.de](http://www.asta-hannover.de)

### **HiWi-Jobs und Arbeitsmöglichkeiten**

Die beste Möglichkeit, nicht nur Geld zu verdienen, sondern auch Erfahrungen für den späteren Beruf zu gewinnen und Studieninhalte zu wiederholen, ist als studentische Hilfskraft im Bereich der Universität zu arbeiten. Hier ist Mitarbeit in der Forschung und Verwaltung der Institute oder im Bereich der Lehre möglich. Bei Interesse empfiehlt es sich die Dozenten und wissenschaftlichen Mitarbeiter direkt anzusprechen. Sie stehen gern beratend zur Verfügung.

Daneben bietet Hannover als bedeutende Industrie- und Handelsstadt auch in Firmen, Verwaltung und Dienstleistung sowie bei den Messen (z.B. Hannover Industriemesse) diverse Möglichkeiten für Studierende, Geld zu verdienen.

## Anhang Links und Lagepläne

### Links

Zentraler Bereich Studium der Fakultät-Homepage:

[www.maphy.uni-hannover.de/studium](http://www.maphy.uni-hannover.de/studium)

Prüfungsordnungen:

Bachelor of Science in Physik:

[www.uni-hannover.de/pruefungsinfos/physik-bsc/ordnungen](http://www.uni-hannover.de/pruefungsinfos/physik-bsc/ordnungen)

Master of Science in Physik:

[www.uni-hannover.de/pruefungsinfos/physik-msc/ordnungen/](http://www.uni-hannover.de/pruefungsinfos/physik-msc/ordnungen/)

Lagepläne







