UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

Modulhandbuch

für den Master-Studiengang Quantum Engineering

Mit Modulbeschreibungen zu Veranstaltungen für den Master Studiengang Quantum Engineering vom xx. Monat 2020

Studien-abschnitt	Titel	Modulverantwortlich	ECTS
Kernbereich Systems Engineering			
2. Sem.	Advanced Electronic Packaging	Wiese	4
2. Sem.	Microelectronics 2	Xu	4
3. Sem.	Digital Transmission, Signal Processing	Herfet	9
3. Sem.	Microsensors	Schütze	4
3. Sem.	High Frequency Engineering	Möller	4
3. Sem.	Antenna Theory 1	Dyczij-Edlinger	5
Kernbereich Quantenphysik			
1. Sem.	Theoretische Physik IV für QE	Santen	8 (6)
2. Sem.	Theoretische Physik V für QE	Santen	8 (4)
1. Sem.	Festkörperphysik II	Becher	4
1.Sem.	Atom- und Molekülphysik	Becher	4
3. Sem.	Quantum and Modern Optics	Becher/Eschner/Morigi	5
2. Sem.	Nanostrukturphysik II a/b	Hartmann	5
Fachspezifische Wahlpflicht			
2. Sem.	Multisensorsignalverarbeitung	Schütze	4
1. Sem.	Mikroelektronik 3	Xu	4
2. Sem.	Mikroelektronik 4	Xu	4
1. Sem.	Computational Electromagnetics 1	Dyczij-Edlinger	4
2. Sem	Computational Electromagnetics 2	Dyczij-Edlinger	4
2. Sem.	High Speed Electronics	Möller	4
3. Sem.	Zuverlässigkeit 1	Wiese	4
3. Sem.	Nanomechanik	Bennewitz	5
3. Sem.	Computerphysik	Rieger	5
3. Sem.	Quantentheorie des Lichts	Morigi	5
3. Sem.	Teilchenfallen und Laserkühlung	Eschner	5
3. Sem.	Theoretische Physik für Quantentechnologien	Wilhelm-Mauch, Morigi	5
Fachspezifische Seminare und Praktika			
1. Sem.	Phys. Praktikum für Fortgeschrittene IIa	Eschner	7
2. Sem.	Phys. Praktikum für Fortgeschrittene IIb	Eschner	4
2. Sem	Mikroelektronik Praktikum (FPGA)	Xu	4
3. Sem.	Mikrocontroller-Projektseminar	Schütze	3
3. Sem.	Kleines Projektseminar (im Team)	ProfessorInnen Physik / Systems Engineering	3
3. Sem	Großes Projektseminar (im Team)	ProfessorInnen Physik / Systems Engineering	6
Allgemeine Wahlpflicht			
2. Sem.	Höhere Mathematik IV (a+b)	DozentInnen der Mathematik	9
3. Sem.	Kontinuumsmechanik	Diebels	4
2. Sem.	Finite Elemente in der Mechanik	Ripplinger	4
2. Sem	Empirische und statistische Modellbildung	Bähre	4
3. Sem.	Sprachkurse	Sprachenzentrum	
3. Sem.	Berufspraktische Tätigkeit		max. 9
3. Sem.	Forschungsseminar	ProfessorInnen der Physik	9
3. Sem.	Projektseminar	ProfessorInnen Physik / Systems Engineering	6
Laborprojekt und Master-Arbeit			
3. Sem.	Laborprojekt	ProfessorInnen der Physik	15
4. Sem.	Master-Arbeit	ProfessorInnen der Physik	30

Name of the module **Advanced Electronic Packaging**					Abbrevation AEP
Semester	Reference semester	Term	Duration	Weekly hours	Credits
2	**2**	**summer**	**1 Semester**	**3**	**4**

Responsible lecturer Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Wiese

Lecturer(s) Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Wiese

Level of the unit Master Systems Engineering, Kernbereich
Master Quantum Engineering, Kernbereich Systems Engineering

Entrance requirements For graduate students: none

Assessment / Exams written or oral exams

Course type / Weekly hours Lecture: 2 weekly hours
Seminar: 1 weekly hour

Total workload Lecture 15 weeks à 2 weekly hours = 30 h
Seminar 15 week à 1 weekly hour = 15 h
self study = 45 h
exam preparation = 30 h

total workload = 120 h

Grading Grade of written or oral exam

Aims/Competences to be developed
Electronic packaging is a vital part in the physical realization of electronic systems. The course focuses on recent developments in the area of electronic packaging. Fundamental academic knowledge in the area of joining technologies and packaging materials will be one part of the lecture. Other chapters include area array components, stacked chips, system in package and green packaging technologies.

Content
- Background of high pincounts
- Electrical and Thermal Issues in Electronic Packaging
- Specific Surfaces and Joining Technologies
- Area Array Components
- Bumping Technologies and Flip-Chip-Packages
- From Ball Grid Array Packages to Chip Size Packages
- Chip Stacking and other System in Package approaches
- Green Packaging Technologies

Additional information

Language: English

Literature: to be announced at the beginning of the course

Modul: **Microelectronics 2 - Manufacturing Processes and CAD for Microelectronics**					Abk.
Studiensem.	Reference semester	Term	Duration	Weeklyhours	Credits
2	**2**	**Jedes SS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Responsible lecturer Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu

Lecturer(s) Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu

Level of the unit Bachelor Mechatronics, Elective Module of Specialization Microsystems and Electro Technology
CoreCourses of Master Systems Engineering
Master Quantum Engineering, Kernbereich Systems Engineering

Entrance requirements None

Assessment / Exams Exam at the end of semester

Course type / Weekly hours 1 Lecture: 2hrs
1 Tutorial: 1hr

Total workload Classes Lecture: 15 weeks of 2 hrs:30hrs
Classes Tutorial: 14 weeks of 1 hr: 14 hrs
Preparation and follow-up work lecture and tutorial:46 hrs
Exam preparation: 30 hrs

Grading Exam grade

Aims/Competences to be developed
Understanding in manufacturing and development processes of integrated digital circuits – CAD and EDA for Microelectronics

Content

- Value chain of manufacturing (waferprocess, assembly, testing)
- Single wafer process steps, housing, analog testing, matching
- Abstraction level in microelectronics (physical, symbolic, functional), Y-tree
- Design flow, design styles
- Tools for design of integrated circuits, integration of tools
- Arithmetic operators
- Logic simulation (higher language, event driven, delay)
- Hardware description language VHDL
- Logicoptimization, technology mapping
- Testing of digital circuits, design for testibility, test pattern, autotest
- Layout: floor-planning, polygone, Pcell/cells, generators, design rules, verification, parasitics, backannotation, matching, place and route, OPC

Additional information
Language: German, optional English
Literature: Script ofthe chair, lecture slides

Modul **Telecommunications I – Digital Transmission, Signal Processing**					Abk. **TCI**
Studiensem. **1,3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **Mind. einmal in 2 Jahren (WS)**	Dauer **1 Semester**	SWS **6**	ECTS-Punkte **9**

Modulverantwortliche/r	Prof. Dr.-Ing. Thorsten Herfet
Dozent/inn/en	Lecture: Prof. Dr.-Ing. Thorsten Herfet Tutorial task sheets: Dipl.-Ing. Aleksej Spenst, M.Eng. Tutorial: N.N. (Student Assistant)
Zuordnung zum Curriculum	Master Mechatronik, Kernbereich Vertiefung Elektrotechnik LAB Mechatronik, Wahlpflicht in der Vertiefung Elektrotechnik Bachelor Mechatronik, Wahlpflichtveranstaltung Elektrotechnik Master Systems Engineering, Kernbereich
Zulassungsvoraussetzungen	The lecture requires a solid foundation of mathematics (differential and integral calculus) and probability theory. The course will, however, refresh those areas indispensably necessary for telecommunications and potential intensification courses and by this open this potential field of intensification to everyone of you.
Leistungskontrollen / Prüfungen	Regular attendance of classes and tutorials Passing the final exam in the 2nd week after the end of courses. Eligibility: Weekly exercises / task sheets, grouped into two blocks corresponding to first and second half of the lecture. Students must provide min. 50% grade in each of the two blocks to be eligible for the exam.
Lehrveranstaltungen / SWS	Lecture 4 h (weekly) Tutorial 2 h (weekly) Tutorials in groups of up to 20 students
Arbeitsaufwand	270 h = 90 h of classes and 180 h private study
Modulnote	final exam mark

Lernziele/Kompetenzen
Digital Signal Transmission and Signal Processing refreshes the foundation laid in "Signals and Systems". Including, however, the respective basics so that the various facets of the introductory study period (Bachelor in Computer Science, Vordiplom Computer- und Kommunikationstechnik, Elektrotechnik or Mechatronik) and the potential main study period (Master in Computer Science, Diplom-Ingenieur Computer- und Kommunikationstechnik or Mechatronik) will be paid respect to.

Inhalt
As the basic principle, the course will give an introduction into the various building blocks that modern telecommunication systems do incorporate. Sources, sinks, source and channel coding, modulation and multiplexing are the major keywords but we will also deal with dedicated pieces like A/D- and D/A-converters and quantizers in a little bit more depth. The course will refresh the basic transformations (Fourier, Laplace) that give access to system analysis in the frequency domain, it will introduce derived transformations (z, Hilbert) for the analysis of discrete systems and modulation schemes and it will briefly introduce algebra on finite fields to systematically deal with error correction schemes that play an important role in modern communication systems.

Weitere Informationen

Unterrichtssprache:
English

Literaturhinweise:
Bekanntgabe jeweils vor Beginn der Vorlesung auf der Vorlesungsseite im Internet

Name of the module **Microsensors**					Abbrevation
Semester	Reference semester	Term	Duration	Weekly hours	Credits
1,3	**3**	**WS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Responsible lecturer	Prof. Dr. Andreas Schütze
Lecturer(s)	Prof. Dr. Andreas Schütze and teaching assistants from the Lab for Measurement Technology
Level of the unit	Master Quantum Engineering, core area Systems Engineering Master-Studiengang Systems Engineering Wahlpflicht im Studiengang Mikrotechnologie und Nanostrukturen (Master, ggfs. bereits im Bachelor zu absolvieren)
Entrance requirements	For graduate students: none
Assessment / Exams	Graded seminar talk, oral final exam
Course type / Weekly hours	3 hours per weeks: Lecture 2 h (weekly) Tutorial 0.5 h (bi-weekly) Seminar presentations 0.5 h
Total workload	Classes, tutorial and seminar talks: 45 h Private studies: 25 h Seminar preparation: 25 h Oral exam preparation: 25 h Total: 120 h
Grading	Final grade is determined from grades of oral exam (70%) and seminar talk (30%)

Aims/Competences to be developed

- Students will familiarize themselves with different microsensor principles including specific advantages and disadvantages as well as fundamental limits for measurement uncertainty etc.;
- Students will gain insights into advanced microsensor system solutions including realization, packaging and technological aspects;
- Students learn to assess advantages and disadvantages of various microsensor principles depending on the application.

Contents

- Chemical microsensors
  - Micro and nanostructured metal oxide gas sensors
    - Fundamental sensor principles: resistance change caused by redox reactions on the sensor surface
    - Micromachined gas sensors
    - Nanotechnology for gas sensors
  - Gas-sensitive Field Effect Transistors (GasFET)
    - Fundamentals: Interaction of adsorbates with semiconductors
    - Classic hydrogen FET
    - Micromachined gate structures (suspended/perforated gate), SiC-FETs
  - IR absorption

        - Fundamentals: interaction of light with molecules
        - Microspectrometer solutions
        - IR gas measurement
        - IR microsensors for liquid analysis
- Magnetic microsensors
    - Fundamentals: magnetic fields and magnetic materials
    - Hall sensors
        - Function principle
        - Realization in CMOS technology including signal processing approaches
        - Approaches for multidimensional measurements (vertical hall sensors, integrated magnetic concentrators, pixel cell)
    - Magnetoresistive sensors:
        - Fundamentals of AMR, GMR and TMR sensors incl. manufacturing process
        - Functional improvement through layout optimization and advanced measurement principles
    - Application examples e.g. from the fields of automation, automotive and consumer applications

- Further microsensor principles, realizations and applications are discussed in the frame of the seminar presentation, current topics are proposed, but students can also suggest their own microsensor according to their interests

Additional information

Language: English

Lecture documents (slides) and exercises are available for download (http://www.lmt.uni-saarland.de)

Literature:
(all books can be can be viewed at the Lab for Measurement Technology after consultation)
- accompanying material (class slides, selected publications and book chapters);
- P. Gründler: Chemische Sensoren – eine Einführung für Naturwissenschaftler und Ingenieure, Springer, 2003.
- T.C. Pearce, S.S. Schiffman, H.T. Nagle, J.W. Gardner (eds.): Handbook of Machine Olfaction - Electronic Nose Technology, WILEY-VCH, 2003.
- U. Dibbern: Magnetoresistive Sensors, in: W. Göpel, J. Hesse, J.N. Zemel (Eds.): SENSORS - a comprehensive Survey; Volume 5: Magnetic Sensors, VCH Verlag, 1989.
- R. Popović, W. Heidenreich: Magnetogalvanic Sensors, ebenda
- S. Tumanski: Thin Film Magnetoresistive Sensors, IoP Series in Sensors, 2001.
- T. Elbel: Mikrosensorik, Vieweg Verlag, 1996.
- R.S. Popovic: Hall effect devices, Adam Hilger, 1991.
- Various journal and conference publications.
- Training material from advanced training courses

Name of the module **High Frequency Engineering**					Abbrevation
Semester	Reference semester	Term	Duration	Weekly hours	Credits
1,3	**3**	**WS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Responsible lecturer Prof. Dr. M. Möller

Lecturer(s) Prof. Dr. M. Möller

Level of the unit Master Systems Engineering, Kernbereich
Master Quantum Engineering, Kernbereich Systems Engineering

Entrance requirements For graduate students: none
Bachelor level in Electronics and Circuits

Assessment / Exams Theoretical and practical (CAD examples) exercises
• Regular attendance of lecture and tutorial
• Final oral exam
• A re-exam takes place during the last two weeks before the start of lectures in the following semester.

Course type / Weekly hours Lecture 2h (weekly)
Tutorial 1h (weekly)

Total workload 120 h = 45 h classes and 75 h private study

Grading Final exam mark

Aims/Competences to be developed
Acquiring basic knowledge on fundamental high-frequency and network-theory methods to characterize and model distributed and lumped element networks. Applying these methods to modelling, design and measurement of high-speed circuits. Introduction to general optimization criteria and optimization strategy. To prepare for hands-on training on “RF-circuits and measurement techniques”.

Content
Introduction:
Retardation, Skin-, Proximity-Effect, Signal path lengths, lumped and distributed properties, Interconnect and Transmission Line modelling

• Waves and S-parameters:
Generalised waves, power, reflection, Smith diagram, matching, S-parameters, ABCD-parameters, Signal flow graph methods.

• Network properties:
Tellegen theorem, linearity, reciprocity, symmetry, unitarity, modal network description (differential operation),

• Network measurement methods and components:
time domain reflectometry (TDR), line-coupler, power splitter/divider, Vector Network Analyzer (VNA)
• Electrical Noise
Noise processes, characterization and properties, network models

• Optimization criteria (e.g. noise, phase- and frequency response, linearity, stability, matching CMRR, PSRR, pulse fidelity, eye-diagram)

• Optimization strategy:
Trade-off, degees of freedom (DOF), Introducing DOFs by decoupling, optimization example

Additional information

Used Media: Beamer, blackboard, lecture notes, Computer (CAD examples)

Language: English

Literature:
- Lecture notes
- Hochfrequenztechnik 2, Zinke, Brunswig, 5. Auflage, Springer
- Microwave Engineering, David M. Pozar, 3rd ed., Wiley
- Grundlagen der Hochfrequenzmesstechnik, B. Schiek, Springer
- Rauschen, R. Müller, Springer
- Related articles from journals and conferences.

Modul **Antenna Theory 1**					Abk. **ANT1**
Studiensem. **1,3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **WS**	Dauer **1 Semester**	SWS **3**	ECTS-Punkte **5**

Modulverantwortliche/r Romanus Dyczij-Edlinger

Dozent/inn/en Romanus Dyczij-Edlinger (Vorlesung) und Mitarbeiter (Übung)

Zuordnung zum Curriculum Vertiefungsveranstaltung Master Computer- und Kommunikationstechnik
Master Systems Engineering, Erweiterungsbereich
Master Quantum Engineering, Kernbereich Systems Engineering

Zulassungsvoraussetzungen
DE: Keine. Studierende sollten eine Vorlesung über elektromagnetische Felder gehört haben.
EN: None. Students are expected to have taken a course in electromagnetic fields.

Leistungskontrollen / Prüfungen
DE: Aufgaben und mündliche Prüfung
EN: Homework and oral exam

Lehrveranstaltungen / SWS
DE: Vorlesung (2 SWS) und Übung (1 SWS)
EN: Lectures (2 SWS) and recitations (1 SWS)

Arbeitsaufwand

DE:		EN:	
Vorlesung		Lectures	15 x 2h = 30h
Übung		Recitations	15 x 1h = 15h
Heimarbeit		Homework	15 x 5h = 75h
Prüfungsvorbereitung		Exam preparation	30h
SUMME		SUM	150h

Modulnote
DE: Aufgaben 30%, Prüfung 70%
EN: Homework 30%, Exam 70%

Lernziele/Kompetenzen

DE: Beherrschung der theoretischen Grundlagen von Antennen.
Kenntnis der Fachausdrücke zur Charakterisierung von Antennen.
Verständnis der Funktionsweise üblicher Antennenklassen und der Unterschiede zwischen ihnen.
Die Fähigkeit, für eine gegebene Anwendung die geeignete Art von Antenne zu wählen.
Beherrschung von Methoden zur quantitativen Auslegung von Antennen.
Elementares Wissen über Antennenmesstechnik.

EN: To master the theoretical foundations of antennas.
To know the standard terms for characterizing antennas.
To understand the working principles of and differences between widely used classes of antennas.
To be able to choose the proper type of antenna for a given application.
To master methods for quantitative antenna design.
To have a basic knowledge of antenna measurement techniques.

Inhalt:

DE: Theoretische Grundlagen; Definitionen und Terminologie; Übertragungsstrecke; Antennenklassifikation; Drahtantennen; Aperturantennen; Mikrostreifenleiterantennen; Gruppenstrahler; Reflektorantennen; Breitband- und frequenzunabhängige Antennen; Ansteuernetzwerke; Antennenmesstechnik; fortgeschrittene Theorie.

EN: Theoretical foundations; definitions and terminology; radio channel; antenna classification; wire antennas; aperture antennas; microstrip antennas; antenna arrays; reflector antennas; broadband and frequency-independent antennas; feeding networks; antenna measurements; advanced

theory.

Weitere Informationen:
DE: Skript in englischer Sprache ist auf www.lte.uni-saarland.de erhältlich (Kennwort-geschützt).
EN: Lecture notes in English are available from www.lte.uni-saarland.de (password protected).

Unterrichtssprache:
DE: Studierende können zwischen Deutsch und Englisch wählen.
EN: Students may choose between English and German.

Literaturhinweise:
C. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design. 3rd edition. John Wiley & Sons, 2005.
J. Kraus, Antennas. 3rd edition. McGraw-Hill, 2001.
R. Elliot, Antenna Theory and Design. Revised edition. Wiley-IEEE Press, 2003.
R. Collin, Antennas and Radiowave Propagation. 4th edition. McGraw-Hill, 1985.
K. Klark, Antennen und Strahlungsfelder. 2nd edition. Vieweg. 2006.

Theoretische Physik IV für QE – Quantenphysik und statistische Physik: Weiterführende Konzepte					**TP IV QE**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1	**1**	**WS**	**1 Semester**	**6 (5)**	**8 (6)**

Modulverantwortliche/r Prof. Dr. Rieger

Dozent/inn/en Hochschullehrer(innen) der Theoretischen Physik

Zuordnung zum Curriculum Master Quantum Engineering, Kernbereich Quantenphysik
Bachelor Physik, Pflichtveranstaltungen
Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kernbereich Physik

Zugangsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen.
Die Inhalte des Moduls TP III werden vorausgesetzt.

Leistungskontrollen / Prüfungen Klausur oder mündliche Prüfung
Prüfungsvorleistungen: Erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben

Lehrveranstaltungen / SWS
- Vorlesung (4 SWS)
- Übung (2 bzw. 1 SWS)

Arbeitsaufwand

• Präsenzzeit Vorlesung 15 Wochen à 4 SWS	60 Stunden
• Präsenzzeit Übung 15 Wochen à 2 (bzw. 1) SWS	30(15) Stunden
• Vor- und Nachbereitung Vorlesung, Bearbeitung der Übungsaufgaben, Klausur- oder Prüfungsvorbereitung	150(105) Stunden
Summe	240(180) Stunden

Modulnote Aus der Klausurnote bzw. der Note der mündlichen Prüfung

Lernziele / Kompetenzen

- Überblick über weiterführende Konzepte, Methoden und Begriffe der theoretischen Quantenphysik und der statistischen Physik.
- Diskussion von komplexeren Modellsystemen
- Anschluss an aktuelle Forschungsgebiete
- Einführung in moderne Methoden der Quantenmechanik und statistischen Physik

Inhalt

- Variations- und Störungsrechnung
- Zeitabhängige Phänomene
- Mehrteilchenprobleme, identische Teilchen
- Ideale Quantengase
- Klassische wechselwirkende Systeme
- Phasenübergänge
- Stochastische Prozesse

Weitere Informationen
Die Veranstaltung kann nur einmal eingebracht werden entweder mit 6 oder mit 8 CP.

Literatur:

- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe, Quantenmechanik 1&2, de Gruyter, 1998
- W. Nolting, Grundkurs Theoretische Physik 5/2, Springer, 2006
- R. Shankar, Principles of Quantum Mechanics, Springer,1994
- F. Schwabl, Quantenmechanik 1&2, Springer, 2004
- F. Schwabl, Statistische Mechanik, Springer, 2006
- W. Nolting, Grundkurs Theoretische Physik 6, Springer, 2004
- W. Brenig, Statistische Theorie der Wärme, Springer, 1992
- F. Reif und W. Muschnik, Statistische Physik und Theorie der Wärme, de Gruyter, 1987
- M. LeBellac, F. Mortessagne, G.G. Batrouni, Equilibrium and Non-Equilibrium Thermodynamics, Cambridge University Press, 2004

Theoretische Physik V für QE – Fortgeschrittene Konzepte der Quantenphysik					**TP V QE**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
2	**2**	**Jährlich (SS)**	**1 Semester**	**6 (4)**	**8 (4)**

Modulverantwortliche/r	Santen
Dozent/inn/en	Hochschullehrer(innen) der Theoretischen Physik
Zuordnung zum Curriculum	Master Physik, Pflicht in Vertiefung Theoretische Physik Master Quantum Engineering, Kernbereich Quantenphysik
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen
Leistungskontrollen / Prüfungen	Klausur oder mündliche Prüfung
Lehrveranstaltungen / SWS	Vorlesung (4 SWS), Übung (2 SWS) Für die Variante mit 4 CP belegen die Studierende die Veranstaltung in den ersten 11 Wochen des Semesters. In diesem Zeitraum ist sie als Vorlesung mit 4 SWS und Übung mit 1 SWS organisiert. Die Übungen dienen dabei in erster Linie zur Vertiefung der Vorlesungsinhalte.
Arbeitsaufwand	60 (44) h Präsenzzeit für die Vorlesung 30 (11) h Präsenzzeit für die Übungen 150 (65) h Selbststudium (Vor- und Nachbearbeitung, Bearbeitung von Übungen, Klausurvorbereitung) = insgesamt 240 (120) h
Modulnote	Klausur oder mündliche Prüfung

Lernziele / Kompetenzen

- Erlernen der Methoden (bzw. Grundlegendes Verständnis⁺) zur theoretischen Beschreibung und Analyse von quantenmechanischen Vielteilchensystemen
- Verständnis (bzw. vertieftes Verständnis*) der wichtigsten physikalischen Phänomene in Systemen mit einer makroskopischen Anzahl wechselwirkender Teilchen
- Beherrschung (bzw. Kenntnis⁺) der grundlegenden Konzepte von Quantenstatistik und relativistischer Quantenmechanik, sowie von Phasenübergängen und Nichtgleichgewichts-Physik
- Anschluss an die aktuelle Forschung in der theoretischen Physik

*) nur in der Variante mit 8 CP, ⁺) nur in der Variante mit 4 CP

Inhalt

- Zweite Quantisierung: Bosonen, Fermionen und Feldoperatoren
- Streutheorie
- Feldquantisierung
- Relativistische Quantenmechanik: Klein-Gordon Gleichung, Dirac-Gleichung
- Fluktuationen und Response
- Grundlagen des Pfadintegralbegriffs
- Weiterführende Methoden der Anwendungen (nur in der Variante mit 8 CP)

Weitere Informationen
Die Veranstaltung kann nur einmal eingebracht werden, entweder mit 4 oder mit 8 CP.

Unterrichtssprache: Deutsch, auf Wunsch Englisch

Literatur:

- C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloe, Quantenmechanik 2, de Gruyter, 1998
- F. Schwabl, Quantenmechanik für Fortgeschrittene, Springer, 2005
- F. Schwabl, Statistische Mechanik, Springer, 2006
- R.P. Feynman, Statistical Mechanics, Perseus Books, 1998
- Yu V. Nazarov, J. Danon: Advanced Quantum Mechanics, Cambridge University Press
- S. J. Sakurai, Advanced Quantum Mechanics, Addison-Wesley

Modulelement **Festkörperphysik II**					Abk. **EP Va**
Studiensem. **2**	Regelstudiensem. **2**	Turnus **Jedes SS**	Dauer **1 Semester**	SWS **3**	ECTS-Punkte **4**

Modulverantwortliche/r Prof. Dr. rer. nat. Christoph Becher

Dozent/inn/en 1 Hochschullehrer(in) der Experimentalphysik
1 student. Betreuer(in) pro Übungsgruppe

Zuordnung zum Curriculum Master Physik, Pflicht
Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kernbereich Physik
Master Quantum Engineering, Kernbereich Quantenphysik

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen

Leistungskontrollen / Prüfungen Vorlesung mit Übung: Eine benotete Klausur oder mündliche Prüfung. Teilnahmevoraussetzung: jeweils erfolgreiche Bearbeitung der Aufgaben in den Übungen

Lehrveranstaltungen / SWS

- Vorlesung „Experimentalphysik Va“ (Festkörperphysik II) — 2 SWS / 2 CP
- Übung zur Vorlesung (max. Gruppengröße: 15) — 1 SWS / 2 CP

Arbeitsaufwand

- Präsenzzeit Vorlesung 15 Wochen à 2 SWS — 30 Stunden
- Präsenzzeit Übung 15 Wochen à 1 SWS — 15 Stunden
- Vor- und Nachbereitung Vorlesung, Bearbeitung der Übungsaufgaben, Klausur- oder Prüfungsvorbereitung — 75 Stunden

Modulnote Note der Klausur bzw. der mündlichen Prüfung

Lernziele/Kompetenzen

- Erwerb von fortgeschrittenen Kenntnissen zur Festkörperphysik
- Vermittlung eines Überblicks der historischen Entwicklung und moderner Anwendungen
- Vermittlung wissenschaftlicher Methodik, insbesondere der Fähigkeit, einschlägige Probleme mit qualitativ mittels mathematischer Formalismen zu behandeln und selbständig zu lösen
- Kennenlernen von Schlüsselexperimenten und experimentellen Techniken/Messmethoden
- Einüben elementarer Techniken wissenschaftlichen Arbeitens, insbesondere der Fähigkeit, physikalische Problemstellungen durch Anwendungen mathematischer Formalismen selbständig zu lösen

---

Inhalt

- Metalle
- Fermi-Flächen
- Halbleiter
- Dielektrische Eigenschaften
- Magnetismus
- Supraleitung
- Moderne experimentelle Methoden der Festkörperphysik

Weitere Informationen

Inhaltlich wird auf die Module EP I, EP II, EP III, EP IV aufgebaut.

Unterrichtssprache: deutsch

Literaturhinweise:

- Kittel: Festkörperphysik
- Ashcroft, Mermin: Festkörperphysik
- Kopitzi: Einführung in die Festkörperphysik
- Ibach, Lüth: Festkörperphysik

Atom- und Molekülphysik					**EP V**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1	**1**	**jährlich**	**1 Semester**	**3**	**4**

Modulverantwortliche/r Dozent/inn/en
Becher
1 Hochschullehrer(in) der Experimentalphysik
1 studentischer Betreuer(in) pro Übungsgruppe

Zuordnung zum Curriculum
Pflicht

Zulassungsvoraussetzungen
Keine formalen Voraussetzungen.
Inhaltliche Voraussetzungen sind grundlegende Kenntnisse in Optik und Atomphysik (Experimentalphysik III)

Leistungskontrollen / Prüfungen
Vorlesung mit Übung: eine benotete Klausur oder mündliche Prüfung. Teilnahmevoraussetzung: erfolgreiche Bearbeitung der Aufgaben in den Übungen.

Lehrveranstaltungen / SWS

• Vorlesung	2 SWS
• Übung zur Vorlesung (max. Gruppengröße: 15)	1 SWS

Arbeitsaufwand

• Präsenzzeit Vorlesung 15 Wochen à 2 SWS	60 Stunden
• Präsenzzeit Übung 15 Wochen à 1 SWS	30 Stunden
• Vor- und Nachbereitung Vorlesung, Bearbeitung der Übungsaufgaben, Klausur- oder Prüfungsvorbereitung	30 Stunden
Summe	120 Stunden

Modulnote
Note der Klausur bzw. der mündlichen Prüfung

Lernziele/ Kompetenzen:

- Erwerb von fortgeschrittenen Kenntnissen zur Atom- und Molekülphysik
- Vermittlung eines Überblicks der modernen Anwendungen und Probleme
- Vermittlung wissenschaftlicher Methodik, insbesondere der Fähigkeit, einschlägige Probleme quantitativ mittels mathematischer Formalismen zu behandeln und selbständig zu lösen
- Kennenlernen von Schlüsselexperimenten und experimentellen Techniken/Messmethoden
- Einüben fortgeschrittener Techniken wissenschaftlichen Arbeitens, insbesondere der Fähigkeit, physikalischer Problemstellungen durch Anwendung mathematischer Formalismen und Nutzung der wissenschaftlichen Literatur („Reading Class“) selbständig zu lösen

Inhalt

- Mehrelektronenatome
- Aufbau des Periodensystems
- Kernspin und Hyperfeinstruktur
- Spektren komplexer Atome
- Moderne experimentelle Methoden der Atomphysik
- Einführung in die Molekülphysik: Struktur und Bindung, Molekülspektren

Weitere Informationen

Inhaltlich wird auf die Module EP I, EP II, EP III, EP IV aufgebaut.

Unterrichtssprache: Deutsch, auf Wunsch Englisch

Literaturhinweise:

- Haken, Wolf: Atom- und Quantenphysik
- Mayer-Kuckuk: Atomphysik
- Bransden: Physics of Atoms and Molecules
- Foot: Atomic Physics
- Demtröder: Molekülphysik

Name of the module **Quantum and Modern Optics**					Abbrevation
Semester	Reference semester	Term	Duration	Weekly hours	Credits
1,3	**3**	**WS**	**1 Semester**	**4**	**5**

Responsible lecturer Prof. Dr. C. Becher

Lecturer(s) Prof. Dr. C. Becher, Prof. Dr. J. Eschner, Prof. Dr. G. Morigi

Level of the unit Master Physics
Master Quantum Engineering

Entrance requirements For graduate students: none.
Basic knowledge at Bachelor level required in: optics, atomic physics, quantum physics, theoretical quantum mechanics, statistical physics

Assessment / Exams Oral final exam / seminar talk

Course type / Weekly hours Lecture 3 h (weekly)
Seminar 1 h (weekly)

Total workload Classes: 60 h (4 SWS x 15 weeks)
Private studies for lecture: 30 h (2h / week x 15 weeks)
Preparation seminar talk: 60 h (4h / week x 15 weeks)
Total: 150 h

Grading Final oral exam / seminar talk: 100 %

Aims/Competences to be developed

- Getting an overview on basic concepts & methods, theoretical models, technical realizations and experimental applications of quantum and modern optics
- Knowledge of theoretical formalism to describe optics and light-matter interaction
- Connecting theoretical concepts and experimental results
- Knowledge of key experiments and experimental techniques
- Independent acquisition of information from literature
- Training of presentation skills

Content

Choice of (dependent on lecturer)

- Light matter interaction: classical dispersion theory, semi-classical theory, coherent effects
- Quantum electrodynamics effects in atoms: spontaneous emission, Lamb shift, Casimir effect
- Cavity Quantum electrodynamics: Purcell effect, Jaynes Cummings model
- Mechanical effects in light matter interaction
- Resonance fluorescence
- Scattering processes: Rayleigh, Raman, Thompson, Compton
- Elements of lasers, simple laser models

- Optical resonators, Gaussian beams
- Laser dynamics, mode selection, spectral properties, noise
- Laser types
- Photons: coherence, statistics
- Quantum mechanical description of the light field, quantization, special states, experimental approaches; quantum vacuum, vacuum fluctuations
- Modern experiments in quantum optics
- Particle traps: Paul/Penning traps, dipol traps, magneto-optical traps
- Laser cooling: free particles, trapped particles, special techniques; applications in quantum optics, quantum information, precision measurements, ultra-cold matter
- Quantum communication: channels, key distribution, teleportation, quantum repeater
- Theoretical description of open quantum systems
- Bose-Einstein statistics and condensation
- Quantum degenerate atomic gases and BEC in interacting systems
- Field theoretical description of weakly interacting bosons
- Superfluidity, quantum coherence
- BEC in optical lattices
- Ultracold Fermi gases, quantum simulation with ultracold atoms

Additional information
Language: English
Literature:

- C. Cohen-Tannoudij et al., Photons and atoms, Wiley ed. (1997)
- C. Cohen-Tannoudij et al., Atom-Photon-Interactions, Wiley ed. (1998)
- P.W. Millonni, The quantum vacuum, Academic Press ed. (1994)
- J.J. Sakurai, Advanced quantum mechanics, Addison-Wesley ed. (1967)
- W. Heitler, The Quantum Theory of Radiation, Wiley Ed. (3rd ed., 1954).
- W. H. Luisell, Quantum Statistical Properties of Radiation, Wiley Ed. (1973).
- A. J. Leggett, Quantum Liquids
- L. Pitaevskii, S. Stringari, Bose-Einstein Condensation
- C. J. Pethick andH. Smith, Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases
- S. Sachdev, Quantum Phase Transitions
- K. Huang, Statistical Mechanics
- O. Svelto, "Principles of Lasers", 4. ed, Springer Verlag, 1998.
- P.W. Milonni, J.H. Eberly, “Lasers”, 1. ed, Wiley Interscience, 1989.
- H.-A. Bachor, T.C. Ralph, „A Guide to Experiments in Quantum Optics“, 3 ed., Wiley-VCH, 2018.
- R. Loudon, „The Quantum Theory of Light“, 3. ed, Oxford University Press, 2000.
- M. Fox, “Quantum Optics”, 1. ed, Oxford University Press, 2006.
- C.C. Gerry, P.L. Knight, “Introductory Quantum Optics”, 1. ed, Cambridge University Press, 2005
- D. Meschede, „Optics, Light and Lasers“, 3. ed, Wiley-VCH, 2017.
- H. Metcalf et al., “Laser cooling and trapping”, 1. Ed. Springer, 1999.
- C. Foot, “Atomic Physics”, 1. Ed., Oxford University Press, 2004.

Modulelement **Nanostrukturphysik II a/b**					**EP Vb**
Studiensem. **2**	Regelstudiensem. **2**	Turnus **Jedes SS**	Dauer **1 Semester**	SWS **4**	ECTS-Punkte **5**

Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. U. Hartmann
Dozent/inn/en	Prof. Dr. U. Hartmann
Zuordnung zum Curriculum	Master Quantum Engineering, Kernbereich Quantenphysik Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kernbereich Physik
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen
Leistungskontrollen / Prüfungen	Vortrag oder mündliche Prüfung
Lehrveranstaltungen / SWS	Vorlesung „Spezielle Themen der Nanostrukturforschung“ und ggf. integrierte Vorträge, 4 SWS, V4
Arbeitsaufwand	Vorlesung inkl. ggf. integrierter Vorträge 15 Wochen à 4 SWS: 60 h Vor- und Nachbereitung: 60 h Prüfungs- oder Vortragsvorbereitung: 30 h
Modulnote	Bewertung des Vortrags oder Note der mündlichen Prüfung

Lernziele/Kompetenzen
Kennen lernen aktueller Forschungsrichtungen der Nanostrukturphysik und Nanotechnologie, insbesondere Erarbeitung von Methoden mit Querschnittscharakter, Detailwissen in speziellen Bereichen der Nanostrukturforschung und Nanotechnologie.

Inhalt
Grundlegende Methoden und Verfahren
- Einführung: Größen-Eigenschafts-Beziehungen
- Rastersondenverfahren und oberflächenanalytische Methoden
- Theoretische und numerische Charakterisierungsmethoden
- Dünne Schichten
- Nanostrukturierte Massivmaterialien
- Lithographische Verfahren
- Diskrete Nanoobjekte

Anwendungsbereiche
- Anwendungen funktioneller Oberflächen
- Anwendungen nanostrukturierter Massivmaterialien
- Mikro- und Nanofluidik
- Nanoelektromechanische Systeme
- Nanobiotechnologie
- Nano- und Molekularelektronik
- Ferromagnetische Materialien und Bauelemente
- Informations- und Kommunikationstechnik
- Medizin und Pharmazeutik

Weitere Informationen

Vorlesungsunterlagen (Präsentationen und Abbildungen) werden auf den Web-Seiten der beteiligten Lehrstühle zum Download bereitgestellt. Für die Diskussion der Vortragsthemen und für die Betreuung der Vortragsvorbereitung stehen wissenschaftliche Mitarbeiter der Lehrstühle zur Verfügung.

Unterrichtssprache: deutsch

Literaturhinweise:

M. Di Ventra et al. (Ed.), *Introduction to Nanoscale Science and Technology* (Springer, N.Y., 2004)
G. Cao, *Nanostructures and Nanomaterials* (Imperial Collage Press, London, 2007)
M. Wautelet et al. , *Nanotechnologie* (Oldenbourg, München, 2008)

Modul **Multisensorsignalverarbeitung**					Abk.
Studiensem. **2**	Regelstudiensem. **2**	Turnus **Jedes SS**	Dauer **1 Semester**	SWS **3**	ECTS-Punkte **4**

Modulverantwortliche/r Prof. Dr. Andreas Schütze

Dozent/inn/en Prof. Dr. Andreas Schütze und Mitarbeiter des Lehrstuhls Messtechnik

Zuordnung zum Curriculum Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen; Kategorie fachspezifische Wahlpflicht;
Master Systems Engineering, Kernbereich Sensor-Aktor-Systeme
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen

Leistungskontrollen / Prüfungen
- Bearbeitung von praktischen Übungsaufgaben und Präsentation der Ergebnisse
- Mündliche Prüfung
- Bearbeitung eines Themas aus dem Spektrum der Vorlesung und Präsentation im Rahmen eines Seminarvortrags

Lehrveranstaltungen / SWS Vorlesung Multisensorsignalverarbeitung und begleitendes Seminar, 3SWS, V2 S1

Arbeitsaufwand
- Vorlesung + Seminarvorträge 15 Wochen 2 SWS 30 h
- Vor- und Nachbereitung 25 h
- Praktische Übungen 5 h
- Eigenständige Bearbeitung eines Themas aus dem Spektrum der Vorlesung 45 h
- Dokumentation und Vortrag 15 h

Modulnote Endnote wird berechnet aus den Teilnoten Übungsaufgabe, mündliche Prüfung und Seminarvortrag (20:30:50)

Lernziele/Kompetenzen
Kennenlernen verschiedener Methoden und Prinzipien für mustererkennende Methoden, insbesondere für die Signalverarbeitung von Multisensorarrays; Bewertung unterschiedlicher Ansätze und Methoden für spezifische Fragestellungen. Eigenständige Erarbeitung von Methoden zur Signalverarbeitung und Darstellung der Vor- und Nachteile an Hand spezifischer Beispiele.

Inhalt
- Motivation für Multisensorsysteme;
- Merkmalsextraktion und Signalvorverarbeitung;
- Overfitting und Validierungsmethoden:
  - Leave-one-out cross validation (LOOCV),
  - N-fold cross validation,
  - Boot strapping;
- Statistische Signalverarbeitungsmethoden zur multivariaten Analyse:
  - PCA (principal component analysis),
  - LDA (linear discriminant analysis),

- Regressionsanalyse (PCR, PLSR, LASSO)
- Support Vector Machines (SVM) und Support Vector Regression (SVR)
- Künstliche neuronale Netze ANN (artificial neural networks):
  - Motivation und Aufbau,
  - Lernalgorithmus (backpropagation),
  - Self organizing networks (Kohonen-Karten);
- Weitere Ansätze, z.B. Fuzzy-Technologien; kombinierte Ansätze;
- Anwendungsbeispiele zur Mustererkennung, qualitativen und quantitativen Auswertung;
- Erarbeitung eines individuellen Themas im Rahmen eines Seminarvortrags.

Weitere Informationen
Vorlesungsunterlagen (Folien) und Übungen werden begleitend im Internet zum Download bereitgestellt; begleitende praktische Übungen werden z.T. an Hand von Rechnersimulationen (Merkmalsextraktion, Vorverarbeitung, SVM/SVR, LDA/PCA, etc.) durchgeführt. Die Vorlesung ist kombiniert mit einem Seminar, in dem die Teilnehmer eigenständig Teilthemen erarbeiten und präsentieren.

Unterrichtssprache: deutsch

Literaturhinweise:
(alle Bücher können am Lehrstuhl für Messtechnik nach Rücksprache eingesehen werden)

- begleitendes Material zur Vorlesung (http://www.lmt.uni-saarland.de);
- R.O. Duda et. al.: “Pattern Classification”, sec. ed., Wiley-Interscience;
- A. Zell: „Simulation Neuronaler Netze“, R. Oldenbourg Verlag, 2000;
- T. Kohonen: „Self-Organizing Maps“, Springer Verlag, 2001;
- F. Höppner et. al.: „Fuzzy-Clusteranalyse“, Vieweg, 1997;
- H. Ahlers (Hrsg.): „Multisensorikpraxis“, Springer Verlag Berlin, 1997
- T.C. Pearce, S.S. Schiffman, H.T. Nagle, J.W. Gardner (eds.): „Handbook of Machine Olfaction - Electronic Nose Technology“, WILEY-VCH, 2003.

Modul: **Mikroelektronik 3**					Abk.
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1,3	**3**	**Jedes WS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Modulverantwortliche/r Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu

Dozent/inn/en Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu

Zuordnung zum Curriculum [Pflicht, Wahlpflicht, Wahlbereich]
Master Systems Engineering, Erweiterungsbereich
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen

Leistungskontrollen / Prüfungen benotete mündliche Abschlussprüfung

Lehrveranstaltungen / SWS [ggf. max. Gruppengröße]
Mikroelektronik III
Vorlesung: 2SWS
Übung: 1SWS

Arbeitsaufwand

Präsenzzeit Vorlesung 15 Wochen à 2 SWS:	30h
Präsenzzeit Übung 15 Wochen à 1 SWS:	15h
Vor- und Nachbereitung Vorlesung und Übung:	45h
Prüfungsvorbereitung:	30h
Summe:	120h (4CP)

Modulnote Abschlussprüfungsnote

Lernziele/Kompetenzen
Verständnisse und Kenntnisse im Verhalten, in der Beschreibung und im Entwurf integrierter analoger und mixed-signal CMOS-Schaltungen.

Inhalt
Vorlesung und Übung Mikroelektronik III

- Einführung in die Analogtechnik
- MOS-Technologie (Eigenschaften, Bauelemente Funktionale Sicht)
- MOS-Transitoren in Schaltungen (CMOS-Schaltungskomponenten)
- Frequenzgang der Verstärker (allgemein, Kapazität und Pol, Common Source, Kaskode, Rückkopplung)
- OP-Verstärker (Einstufiger- und Zweistufiger Verstärker, Ausgangsstufe, Kenngrößen)
- Referenzschaltungen (einfache Referenzschaltungen, Bandgap-Rferenz, Spannungsregler, I-Referenz, g_m-Referenz)
- Switched Capacitor Schaltungen (Swiched Capacitor (SC) Grundlagen, SC Integrator und Verstärker, SC Filter, Sample und Hold Schaltungen)
- AD-Wandler (Einführung, Komparator, paralleler AD-Wandler, sukzessive Approximation AD-Wandler, Integrierter Dual Slop AD-Wandler)
- DA-Wandler (Einführung, paralleler AD-Wandler, serieller DA-Wandler)

Weitere Informationen [Unterrichtssprache, Literaturhinweise, Methoden, Anmeldung]
Unterrichtssprache: deutsch
Literatur: Skriptum des Lehrstuhls zur Vorlesung, Vorlesungsfolien, weiterführende Literatur wird zu Beginn der ersten Vorlesung bekannt gegeben
Methoden: Information durch Vorlesung, Vertiefung durch Eigentätigkeit (Nacharbeiten, aktive Teilnahme an den Übungen)

Modul: **Mikroelektronik 4**					Abk.
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
2	**2**	**Jedes SS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Modulverantwortliche/r Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu

Dozent/inn/en Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu

Zuordnung zum Curriculum [Pflicht, Wahlpflicht, Wahlbereich]
Master Systems Engineering, Wahlbereich
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen

Leistungskontrollen / Prüfungen Präsentation einer Arbeit und mündliche Befragung am Semesterende

Lehrveranstaltungen / SWS [ggf. max. Gruppengröße]
Vorlesung: 2SWS
Übung: 1SWS

Arbeitsaufwand
Präsenzzeit Vorlesung: 15 Wochen à 2 SWS = 30 h
Präsenzzeit Übung: 14 Wochen à 1 SWS = 14 Stunden
Vor- und Nachbereitung Vorlesung und Übung: 46 Stunden
Klausurvorbereitung: 30 Stunden

Modulnote Abschlußprüfung

Lernziele/Kompetenzen
Wie Mikroelektronik in Systemen, insbesondere zur Ansteuerung reeller Anwendungen wie Displays eingesetzt wird. Es schließt Systempartitionierung, Design und Algorithmen ein.

Inhalt

- HV circuit (charge pump, level shifter, hv driver)
- Automotiver Lampentreiber
- Power Management (LDO, Schaltnetzteile)
- Low Power Design
- Licht, Farbe und Visuelle Effekte
- PM-LCD Display Steuerung
- AM-LCD Display (TFT) Steuerung
- PM-OLED Display Steuerung
- AM-OLED Display Steuerung
- Weitere Themen je nach Auswahl der Studierenden

Weitere Informationen [Unterrichtssprache, Literaturhinweise, Methoden, Anmeldung]
Unterrichtssprache: deutsch
Literatur: Vorlesungsfolien, Veröffentlichungen

Modul **Computational Electromagnetics 1**					Abk. **CEM 1**
Studiensem. **1**	Regelstudiensem. **1**	Turnus **Every WS**	Dauer **1 semester**	SWS **3**	ECTS-Punkte **4**

Modulverantwortliche/r	Romanus Dyczij-Edlinger
Dozent/inn/en	Romanus Dyczij-Edlinger
Zuordnung zum Curriculum	Master CuK: Master Systems Engineering, Kernbereich ICS Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	None. Recommended: a first course in Electromagnetics (e.g. Theoretische Elektrotechnik)
Leistungskontrollen / Prüfungen	Programming projects during the semester. Written or oral final exam.
Lehrveranstaltungen / SWS	Computational Electromagnetics 1 Lecture 2 h (weekly) Tutorial 1 h (weekly)
Arbeitsaufwand	Classes: 45 h Private studies: 75 h Total: 120 h
Modulnote	Final exam

Lernziele/Kompetenzen
To master selected topics in numerical linear algebra.
To know how to pose linear (initial-) boundary value problems of classical electrodynamics.
To understand the principles of differential and integral equation methods.

Inhalt
Selected topics in numerical linear algebra
Linear (initial-) boundary value problems of classical electrodynamics
Numerical methods
- Finite difference method / finite integration technique
- Finite element method
- Boundary element method

Weitere Informationen Lecture notes (in English), project assignments, old exams, and selected solutions are available online.

Unterrichtssprache: Students may choose between German or English.

Literaturhinweise: See lecture notes.

Modul **Computational Electromagnetics 2**					Abk. **CEM 2**
Studiensem. **2**	Regelstudiensem. **2**	Turnus **Every SS**	Dauer **1 semester**	SWS **3**	ECTS-Punkte **4**

Modulverantwortliche/r Romanus Dyczij-Edlinger

Dozent/inn/en Romanus Dyczij-Edlinger

Zuordnung zum Curriculum Master CuK:
Master Systems Engineering, Erweiterungsbereich
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen None.
Recommended: Computational Electromagnetics 1

Leistungskontrollen / Prüfungen Oral final exam: student presentations of selected topics from current research papers.

Lehrveranstaltungen / SWS Computational Electromagnetics 2
Lecture 2 h (weekly)
Tutorial 1 h (weekly)

Arbeitsaufwand Classes: 45 h
Private studies: 75 h
Total: 120 h

Modulnote Final exam: 100 %

Lernziele/Kompetenzen
To gain a deep understanding of finite element techniques for time-harmonic electromagnetic fields. Students are familiar with essential theoretical and implementation aspects of modern finite element methods and able to study advanced research papers on their own.

Inhalt
Functional analytical and geometric foundations
Modal analysis of electromagnetic cavities
Modal analysis of driven time-harmonic fields
Analysis of driven time-harmonic fields
Special modeling techniques
Advanced numerical solution methods

Weitere Informationen Lecture notes are available online.

Unterrichtssprache: Students may choose between German or English.

Literaturhinweise: Each section of lecture notes contains list of references.

Name of the module **High Speed Electronics**					Abbrevation
Semester	Reference semester	Term	Duration	Weekly hours	Credits
2	**2**	**SS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Responsible lecturer Prof. Dr. M. Möller

Lecturer(s) Prof. Dr. M. Möller

Level of the unit
Master System Engineering, Erweiterungsbereich
Master MuN, Wahlpflichtbereich
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht

Entrance requirements
For graduate students: none
Bachelor level in Electronics and Circuits

Assessment / Exams
Theoretical and practical (CAD examples) exercises
• Regular attendance of lecture and tutorial
• Final oral exam
• A re-exam takes place during the last two weeks before the start of lectures in the following semester.

Course type / Weekly hours
Lecture 2h (weekly)
Tutorial 1h (weekly)

Total workload 120 h = 45 h classes and 75 h private study

Grading Final exam mark

Aims/Competences to be developed
To know and understand limitations on maximum speed and performance of integrated circuits. To know and to be able to apply design methods and concepts to enhance speed and performance of a circuit. To be familiar with basic circuit stages and methods for combining them to gain a specific functionality and performance. To understand basic circuit concepts for high-speed data- and signal-transmission and –processing with special regard to the transmitter- and receiver-electronics. To be able to design such circuits. To acquire the fundamentals of circuit design as a preparation for the related hands-on training on “High-speed analogue circuit design”.

Content:

- Bipolar transistor model and properties at technological speed limit.
- Concept of negative supply voltage and differential signalling.
- Method of symbolic calculation and modelling of transistor stages.
- Basic electrical properties of transistor stages with special regard to high-frequency considerations.
- Concept of conjugate impedance mismatch.
- Functional stages for broadband operation up to 160 Gbit/s (e.g. photodiode–amplifier, modulator driver, linear and limiting gain stages and amplifier, circuits for gain control, equalizing and analogue signal processing, Multiplexer, Demultiplexer, logic gates (e.g. exor), phase detector, Oscillator (VCO), phase-locked-loop (PLL)).

Additional information

Used Media: Beamer, blackboard, lecture notes, Computer (CAD examples)

Language: English

Literature:
- Lecture notes
- High Speed Integrated Circuit Technology Towards 100 GHz Logic, M. Rodwell, World Scientific
- Intuitive Analog Circuit Design, Marc T. Thompson, Elsevier 2006
- Related articles from journals and conferences.

Modul **Zuverlässigkeit 1**					Abk.
Studiensem. **1,3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **WS**	Dauer **1 Semester**	SWS **3**	ECTS-Punkte **4**

Modulverantwortliche/r Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Wiese

Dozent/inn/en Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Wiese

Zuordnung zum Curriculum
Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kernbereich Mikrosystemtechnik
Bachelor Mechatronik, Wahlpflicht
Master Systems Engineering, Kernbereich
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen

Leistungskontrollen / Prüfungen Benotete schriftliche oder mündliche Prüfung

Lehrveranstaltungen / SWS
Vorlesung: 2 SWS
Übung: 1 SWS

Arbeitsaufwand
Vorlesung 15 Wochen à 2 SWS = 30 h
Übung 15 Wochen à 1 SWS = 15 h
Vor- und Nachbearbeitung = 45 h
Prüfungsvorbereitung = 30 h

Gesamtaufwand = 120 h

Modulnote Note der Klausur bzw. der mündlichen Prüfung

Lernziele/Kompetenzen
Das Ziel der Lehrveranstaltung besteht darin, die Studierenden in den Begriff der technischen Zuverlässigkeit einzuführen und grundlegende stochastische Bewertungsmethoden zu vermitteln. Mit Bezug zu elektronischen Aufbauten sollen den Studierenden die spezifischen physikalischen Degradationsmechanismen, Prüftechniken sowie Simulationsmethoden nahegebracht werden.

Inhalt
- Einführung in Begriff und Wesen der Zuverlässigkeit als technische Spezialdisziplin
- Stochastische Methoden zur Bewertung der Zuverlässigkeit
- Physikalische Fehlermechanismen in elektronischen Aufbauten
- Experimentelle Ermittlung von Zuverlässigkeitskennwerten
- Bewertung der Zuverlässigkeitseigenschaften durch Simulationsmethoden
- Lebensdauerprognostik

Weitere Informationen
Unterrichtssprache: deutsch
Literaturhinweise: Bekanntgabe zu Beginn der Vorlesung

Computerphysik					**CP**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1, 2 o. 3	**3**	Alle 2 Jahre	**1 Semester**	**4**	**5**

Modulverantwortliche/r **Dozent/inn/en**	Prof. Dr. Rieger Rieger, Santen
Zuordnung zum Curriculum	Master Physik, Physikalische Wahlpflicht Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen.
Leistungskontrollen / Prüfungen	Mündliche Prüfung oder Klausur Teilnahmevoraussetzung: Bearbeitung der Übungsaufgaben.
Lehrveranstaltungen / SWS	• Vorlesung (3 SWS) • Übung (1 SWS)
Arbeitsaufwand	• Präsenzzeit Vorlesungen 15 Wochen à 3 SWS — 45 Stunden • Präsenzzeit Übung 15 Wochen à 1 SWS — 15 Stunden • Vor- und Nachbereitung Vorlesung, Bearbeitung der Übungsaufgaben, Klausur- oder Prüfungsvorbereitung — 90 Stunden ---------- Summe — 150 Stunden
Modulnote	Note aus der Klausur bzw. mündlichen Prüfung

Lernziele/Kompetenzen:

- Überblick über die grundlegenden Konzepte und modernen Methoden und Algorithmen der Computerphysik, Kenntnis der wichtigsten algorithmischen Prinzipien
- Erlangung der technischen Kompetenz zur Computer-gestützten Analyse theoretischer Modelle von komplexen physikalischen Problemen
- Kompetenz zur kritischen Beurteilung von numerischen Methoden und Algorithmen
- Herstellen des Zusammenhangs zwischen theoretischen Begriffen und Resultaten von Computersimulationen
- Erlernung des routinierten Einsatzes von Computern in der theoretisch-physikalischen Forschung
- Management naturwissenschaftlicher Programm-Entwicklung: Programmierung, Debugging & Testing, Optimierung, Datengenerierung und -analyse

Inhalt

- Numerische Integration von Differentialgleichungen
- Molekulardynamik-Simulationen
- Zufallszahlen und stochastische Prozesse
- Monte-Carlo Simulationen / Cluster-Algorithmen
- Pfadintegral- bzw. Quanten-Monte-Carlo-Simulationen
- Integration der Schrödinger-Gleichung / ab-initio Rechnungen
- Dichte-Funktional-Theorie
- Exakte Diagonalisierung von Vielteilchen-Hamiltonians
- Dichte-Matrix-Renormierungsgruppe
- Kombinatorische Optimierung

Weitere Informationen

Literaturhinweise:

- J.M. Thijsen, Computational Physics, Cambridge University Press (1999), Cambridge (UK)
- H.G. Evertz, The loop algorithm, Adv. Phys. 52 (2003) 1, cond-mat/9707221
- S.R. White, Strongly correlated electron systems and the density matrix renormalization group, Phys. Rep. 301, (1998) 187
- D. Frenkel und B. Smit, *Understanding Molecular Simulation*, Academic Press
- W. Krauth, Statistical Mechanics: Algorithms and Computations, Oxford Master Series in Statistical, Computational, and Theoretical Physics

Nanomechanik					Abk. **NM**
Studiensem. **1, 2 o. 3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus Alle 2 Jahre	Dauer **1 Semester**	SWS **4**	ECTS-Punkte **5**

Modulverantwortliche/r	Bennewitz
Dozent/inn/en	Hochschullehrer(innen) der Experimental-Physik
Zuordnung zum Curriculum	Master Physik, Physikalische Wahlpflicht Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen. Inhaltliche Voraussetzungen: grundlegende Kenntnisse in Mechanik und Festkörperphysik
Leistungskontrollen / Prüfungen	Klausur oder mündliche Prüfung
Lehrveranstaltungen / SWS	- Vorlesung (3 SWS) - Seminar (1 SWS)
Arbeitsaufwand	- Präsenzzeit: 60 h (4 SWS x 15 Wo.) - Vor- und Nachbereitung (V): 30 h (2 h/Wo x 15 Wo.) - Vorbereitung Seminarvortrag und Abfassen der schriftlichen Version: 60 h (4 h/Wo. x 15 Wo.)
Modulnote	Aus der Klausurnote bzw. Note der mündlichen Prüfung

Lernziele/Kompetenzen
Überblick über grundlegende Konzepte, experimentelle Methoden, sowie neuere Ergebnisse im Bereich der mechanischen Eigenschaften von Strukturen mit Abmessungen auf der Nanometerskala.
Herstellen des Zusammenhangs zwischen den theoretischen Begriffen und Resultaten mit experimentellen Ergebnissen
Kenntnis von Schlüsselexperimenten und experimentellen Techniken/Messmethoden
Selbstständiges Erarbeiten eines eng umgrenzten Themengebiets anhand vorgegebener Literatur
Einüben von Präsentationstechniken

Inhalt
Grundlagen der Beziehung zwischen atomarer Struktur und mechanischen Eigenschaften
Mechanisches Verhalten einzelner Makromoleküle
Plastizität von Nanodrähten
Quantisierte Schwingungen von mikroskopischen Balken
Reibungsphänomene auf atomarer Skala
Weitere aktuelle Forschungsarbeiten zur Nanomechanik

Weitere Informationen
Unterrichtssprache: Auf Wunsch aller Teilnehmerinnen und Teilnehmer kann die Vorlesung in englischer Sprache gehalten werden.
Literaturhinweise:
Andrew N. Cleland: Foundations of Nanomechanics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003

Quantentheorie des Lichts					**QTL**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1, 2 o. 3	**3**	Alle 2 Jahre	**1 Semester**	**4**	**5**

Modulverantwortliche/r **Dozent/inn/en**	Morigi Hochschullehrer(innen) der Theoretische Physik
Zuordnung zum Curriculum	Master Physik, Physikalische Wahlpflicht Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen. Inhaltliche Voraussetzungen: grundlegende Kenntnisse in Atomphysik, Theoretische Quantenphysik und Statistische Physik.
Leistungskontrollen / Prüfungen	Klausur oder mündl. Prüfung
Lehrveranstaltungen / SWS	- Vorlesung (3 SWS) - Seminar (1 SWS)
Arbeitsaufwand	- Präsenzzeit: 60 h (4 SWS x 15 Wo.) - Vor- und Nachbereitung (V): 30 h (2 h/Wo x 15 Wo.) - Vorbereitung Seminarvortrag und Abfassen der schriftlichen Version: 60 h (4 h/Wo. x 15 Wo.)
Modulnote	Aus der Klausurnote bzw. Note der mündlichen Prüfung

Lernziele / Kompetenzen

Einführung in die Methoden der Quanten Feldtheorie

Überblick über die grundlegenden Konzepte und Methoden der Quantenfeldtheorie und der Quanten-Elektrodynamik

Selbstständiges Erarbeiten eines eng umgrenzten Themengebiets anhand vorgegebener Literatur

Inhalt

- Theoretische Beschreibung des quantenmechanischen elektromagnetischen Feldes im Vakuum. Quanten Vakuum, Quantenfluktuationen.
- Atom-Photon Wechselwirkung
- Streu-Prozesse: Rayleigh, Raman, Thompson, (Compton) Streuung
- Quanten Elektrodynamische Effekte in Atomphysik: Spontane Emission, Lamb-Verschiebung, Casimir-Polder Effekt.
- Cavity-Quanten-Elektrodynamik: Purcell Effekt, Jaynes-Cummings Modell.
- Greensche Funktion zur Beschreibung der Atom-Photon Dynamik (Resolvent-Theorie)
- Anwendungen: Resonanz Fluoreszenz von Laser-getriebenen Atomen; Mechanische Effekte des Lichtes / Laser Kühlung von Atomen

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: Deutsch

Literaturhinweise:

- C. Cohen-Tannoudij, et al, Photons and Atoms, Wiley Ed. (1997).
- C. Cohen-Tannoudij, et al, Atom-Photon Interactions, Wiley Ed (1998).
- P.W. Milonni, The quantum vacuum, Academic Press Ed. (1994).
- J.J. Sakurai, Advanced Quantum Mechanics, Addison-Wesley Ed. (1967).
- W. Heitler, The Quantum Theory of Radiation, Wiley Ed. (3rd ed., 1954).

W. H. Luisell, Quantum Statistical Properties of Radiation, Wiley Ed. (1973).

Modul					Abk.
Teilchenfallen und Laserkühlung					**TFLK**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1, 2 o. 3	**3**	Alle 2 Jahre	**1 Semester**	**4**	**5**

Modulverantwortliche/r	Jürgen Eschner
Dozent/inn/en	Hochschullehrer(innen) der Experimental-Physik
Zuordnung zum Curriculum	Master Physik, Physikalische Wahlpflicht Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen. Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse in Atomphysik, Quantenphysik und Optik.
Leistungskontrollen / Prüfungen	Klausur und/oder mündliche Prüfung
Lehrveranstaltungen / SWS	Vorlesung (3 SWS) + Übungen (1 SWS)
Arbeitsaufwand	- Präsenzzeit: 60 h (4 SWS x 15 Wo.) - Vor- und Nachbereitung (V): 30 h (2 h/Wo x 15 Wo.) - Vorbereitung Seminarvortrag und Abfassen der schriftlichen Version: 60 h (4 h/Wo. x 15 Wo.)
Modulnote	Aus der Klausurnote bzw. Note der mündlichen Prüfung

Lernziele/Kompetenzen

- Überblick über die grundlegenden Konzepte des Themas: experimentelle Techniken und Realisierungen, theoretische Methoden und Modelle
- Herstellen des Zusammenhangs zwischen den theoretischen Modellen und experimentellen Systemen und Ergebnissen
- Kenntnis von Schlüsselexperimenten; Überblick über die Anwendungen
- Selbstständiges Erarbeiten eines eng umgrenzten Themengebiets anhand vorgegebener Literatur
- Einüben von Präsentationstechniken

Inhalt

- Licht-Atom-Wechselwirkung
- Mechanische Effekte des Lichts
- Paul- und Penningfalle
- Dipolfalle
- Magnetische und magneto-optische Falle
- Andere Fallentechniken
- Laserkühlung freier Teilchen
- Laserkühlung gefangener Teilchen
- Spezielle Kühltechniken
- Anwendungen: Quantenoptik, Quanteninformation, Präzisionsmessungen, Ultrakalte Materie

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: deutsch

Literaturhinweise:

Metcalf, v.d. Straten, *Laser Cooling and Trapping*
Foot, *Atomic Physics*
Cohen-Tannoudji, Guery-Odelin, *Advances in Atomic Physics: An Overview*
spezielle Literaturquellen, insbesondere Übersichtsartikel, werden in der Veranstaltung bereitgestellt

Modul **Theoretische Physik für Quantentechnologien**					Abk.
Studiensem. **1, 2 o. 3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus Alle 2 Jahre	Dauer **1 Sem**	SWS **4**	ECTS-Punkte **5**

Modulverantwortliche/r Wilhelm-Mauch, Morigi

Dozent/inn/en Wilhelm-Mauch, Morigi

Zuordnung zum Curriculum Master Physik, Physikalische Wahlpflicht
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen

Leistungskontrollen / Prüfungen Mündliche Prüfung oder Klausur
Teilnahmevoraussetzung: Bearbeitung der Übungsaufgaben.
Dringende Empfehlung: erfolgreiche Teilnahme an TP III oder TP III für LaG

Lehrveranstaltungen / SWS 3 SWS Vorlesungen, 1 SWS Übung

Arbeitsaufwand

Präsenzzeit Vorlesungen 15 Wochen à 3 SWS	45 Stunden
• Präsenzzeit Übung 15 Wochen à 1 SWS	15 Stunden
• Vor- und Nachbereitung Vorlesung, Bearbeitung der Übungsaufgaben, Klausur- oder Prüfungsvorbereitung	90 Stunden
Summe	150 Stunden

Modulnote Note aus der Klausur oder mündlichen Prüfung

Lernziele/Kompetenzen
- Verständnis wichtiger Grundlagen der Quantentechnologien
- Verständnis wichtiger Quantenalgorithmen und –protokolle
- Fähigkeit zur Analyse, Beschreibung, und Kontrolle der Dynamik offener Quantensysteme
- Fähigkeit zum Verständnis von Originalliteratur in diesem Gebiet

Inhalt
- Struktur der Quantentheorie unter Informationsgesichtspunkten
- Elementare quantenmechanische Logikgatter und Algorithmen
- Quantenteleportation und Quantenkommunikation
- Elementare Theorie der Quantenmessung
- Elementare Theorie der offenen Systemen
- Quantenkanäle, Elementare Theorie der Quantenfehlerkorrektur

Weitere Informationen

Unterrichtssprache:

Literaturhinweise:
- J. Stolze, D. Suter: Quantum Computing
- G. Benentii, G. Casati, G. Strini: Principles of Quantum Computation and Information (Vol. I+II)
- M. Nielsen, I. Chuang: Quantum Computation and Quantum Information
- N.D. Mermin: Quantum Computer Science: An Introduction
- C.W. Gardiner and P. Zoller, Quantum Noise
- V. B. Braginsky, F. Ya. Khalili, Quantum measurement

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene IIa					**FP IIa**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1	**1**	**WS**	**1 Semester**	**4**	**7**

Modulverantwortliche/r Eschner

Dozent/inn/en 1 Praktikumsleiter
1 student. Betreuer(in) pro Praktikumsgruppe

Zuordnung zum Curriculum Master Physik, Pflicht
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Praktika

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen.

Leistungskontrollen / Prüfungen
- Für jeden Versuch: Eingangsgespräch mit Versuchsbetreuer(in), Durchführung und Protokollierung der Versuche, Versuchsauswertung und Testat, Abschlussgespräch mit Versuchsbetreuer(in);
- Vortrag in einem Blockseminar am Ende des Praktikumssemesters

Lehrveranstaltungen / SWS

Phys. Praktikum für Fortgeschrittene (Gruppengröße: 2)	4 SWS

Arbeitsaufwand

Phys. Praktikum für Fortgeschrittene,	
Durchführung der Versuche	40 Stunden
Vorbereitung und Auswertung	140 Stunden
Blockseminar	5 Stunden
Vorbereitung eines Vortrags über einen durchgeführten Versuch	25 Stunden
Summe	210 Stunden

Modulnote Unbenotet

Lernziele/Kompetenzen

- Vertiefung des Verständnisses ausgewählter physikalischer Konzepte und Theorien durch das Experiment.
- Erwerb von umfassenden Kenntnissen und Kompetenzen im Umgang mit modernen und anspruchsvollen experimentellen Techniken und Messmethoden.
- Arbeiten mit modernen Instrumenten und Erlernen der Anwendung moderner Instrumente und Messverfahren zur Durchführung verlässlicher Messungen sowie der Anwendung und Programmierung von PCs zur Steuerung und Datenerfassung.
- Qualifizierung zum Arbeiten mit wissenschaftlichen Apparaturen, wie sie auch in der aktuellen Forschung eingesetzt werden.

Inhalt

- Durchführung von 4 Versuchen aus den Bereichen
  - Atom- und Molekülphysik
  - Festkörperphysik
  - Mikroskopiemethoden
  - Biophysik
  - Kernphysik
  - Theoretische Physik

- Vortrag über einen der durchgeführten Versuche am Ende des Semesters im Rahmen eines Blockseminars

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: Deutsch, auf Wunsch Englisch

Allgemeines:

Fortgeschrittenenpraktikum: Eine aktuelle Liste der zur Verfügung stehenden Versuche sowie allgemeine Informationen finden sich unter https://fopra.physik.uni-saarland.de/

Anmeldung:
Eine Anmeldung bei den Praktikumsleitern ist jeweils zu Semesterbeginn erforderlich (für das Fortgeschrittenenpraktikum unter https://fopra.physik.uni-saarland.de/

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene IIb					**FP IIb**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
2	**2**	**SS**	**1 Semester**	**2**	**4**

Modulverantwortliche/r Eschner

Dozent/inn/en 1 Praktikumsleiter
1 student. Betreuer(in) pro Praktikumsgruppe

Zuordnung zum Curriculum Master Physik, Pflicht für Studierende mit der Vertiefung Experimentalphysik
Master Quantum Engineering, Fachspezifische Praktika

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Voraussetzungen.

Leistungskontrollen / Prüfungen
- Für jeden Versuch: Eingangsgespräch mit Versuchsbetreuer(in), Durchführung und Protokollierung der Versuche, Versuchsauswertung und Testat, Abschlussgespräch mit Versuchsbetreuer(in);
- Vortrag in einem Blockseminar am Ende des Praktikumssemesters

Lehrveranstaltungen / SWS

Phys. Praktikum für Fortgeschrittene (Gruppengröße: 2)	2 SWS

Arbeitsaufwand

Phys. Praktikum für Fortgeschrittene,	
Durchführung der Versuche	20 Stunden
Vorbereitung und Auswertung	70 Stunden
Blockseminar	5 Stunden
Vorbereitung eines Vortrags über einen durchgeführten Versuch	25 Stunden
Summe	120 Stunden

Modulnote Benotet

Lernziele/Kompetenzen

- Vertiefung des Verständnisses ausgewählter physikalischer Konzepte und Theorien durch das Experiment.
- Erwerb von umfassenden Kenntnissen und Kompetenzen im Umgang mit modernen und anspruchsvollen experimentellen Techniken und Messmethoden.
- Arbeiten mit modernen Instrumenten und Erlernen der Anwendung moderner Instrumente und Messverfahren zur Durchführung verlässlicher Messungen sowie der Anwendung und Programmierung von PCs zur Steuerung und Datenerfassung.
- Qualifizierung zum Arbeiten mit wissenschaftlichen Apparaturen, wie sie auch in der aktuellen Forschung eingesetzt werden.

Inhalt

- Durchführung von 2 Versuchen aus den Bereichen
  Atom- und Molekülphysik
  Festkörperphysik
  Mikroskopiemethoden
  Biophysik
  Kernphysik

- Vortrag über einen der durchgeführten Versuche am Ende des Semesters im Rahmen eines Blockseminars

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: Deutsch, auf Wunsch Englisch

Allgemeines:

Fortgeschrittenenpraktikum: Eine aktuelle Liste der zur Verfügung stehenden Versuche sowie allgemeine Informationen finden sich unter https://fopra.physik.uni-saarland.de/

Anmeldung:
Eine Anmeldung bei den Praktikumsleitern ist jeweils zu Semesterbeginn erforderlich (für das Fortgeschrittenenpraktikum unter https://fopra.physik.uni-saarland.de/

Modul **Mikrocontroller-Projektseminar**					Abk.
Studiensem. **1,3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **Jedes WS**	Dauer **1 Semester**	SWS **2**	ECTS-Punkte **3**

Modulverantwortliche/r	Prof. Dr. Andreas Schütze
Dozent/inn/en	Mitarbeiter des Lehrstuhls Messtechnik
Zuordnung zum Curriculum	Bachelor Quantum Engineering, Allgemeine Grundlagen Master Quantum Engineering, Fachspezifische Praktika
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen
Leistungskontrollen / Prüfungen	Abschlussvortrag und Dokumentation
Lehrveranstaltungen / SWS	Mikrocontroller-Projektpraktikum bestehend aus einer Einführung sowie individuellen, im Team von 2 Studierenden zu lösenden Projektaufgaben nach Vorgabe bzw. Absprache. Ziel ist die Einbindung der Ergebnisse in ein größeres Gesamtprojekt.
Arbeitsaufwand	Präsenzzeit 15h + Bearbeitungszeit 75h für Konzeption, Realisierung, Präsentation und Dokumentation.
Modulnote	Projektnote unter Berücksichtigung von Dokumentation und Präsentation

Lernziele/Kompetenzen

- Verständnis des Mikrocontrollers als eine Kernkomponente eingebetteter Systeme
- Hardwarenahe Programmierung und Definition von Schnittstellen zwischen Hardwarekomponenten
- Projektkoordination und Kommunikation innerhalb und zwischen kleineren Teams
- Lösung messtechnischer Problemstellungen mittels eingebetteter Systeme

Inhalt

- Einarbeitung anhand eines Skripts mit Inbetriebnahme des vorhandenen Experimentierboards
- selbstständiges Finden von Konzepten für eingebettete Systeme zur Lösung messtechnischer Problemstellungen
- Definition der Schnittstellen und Koordination von Teilprojekten
- hardwarenahe Programmierung in C
- Auslesen von Sensoren mittels des Mikrocontrollers
- Signalverarbeitung im Mikrocontroller
- Anbindung des Mikrocontrollers an einen PC über LabVIEW
- koordinierte Verknüpfung von Teilprojekten
- Präsentation der Ergebnisse als schriftliche Dokumentation und Kurzvortrag

Weitere Informationen

Das Praktikum kann nur eingebracht werden, wenn die Veranstaltung nicht schon im Bachelor eingebracht wurde.

Unterrichtssprache: deutsch

Organisation:

- Einführungsveranstaltung (ca. 2 Stunden) zur Vorstellung des Konzepts und Einteilung der Gruppen
- 3 Präsenzveranstaltungen zu Einführung und Koordination (jeweils 1 Nachmittag, je ca. 4 h)
- Unterstützung bei der selbstständigen und selbst organisierten Bearbeitung der Teilprojekte
- Durchführung am Lehrstuhl und/oder eigenständig im Team
- Abschlussveranstaltung (ca. 2 Stunden)

Literaturhinweise:

• http://www.microcontroller.net
• Brinkschulte: Mikrocontroller und Mikroprozessoren, Springer-Verlag
• Florian Schäffer: AVR-Hardware und C-Programmierung in der Praxis, Elektor-Verlag.

Mikroelektronik-Praktikum (FPGA-Programmierung)					
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
2	**2**	**Jährlich, SS**	**1 Semester**	**4**	**4**

Modulverantwortliche/r	Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu
Dozent/inn/en	Prof. Dr.-Ing. Chihao Xu und Mitarbeiter des Lehrstuhls für Mikroelektronik
Zuordnung zum Curriculum	Bachelor Quantum Engineering, ing.-wis. Praktika Master Quantum Engineering, Fachspezifische Praktika
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen. Empfohlen wird Besuch der Vorlesung Mikroelektronik I.
Leistungskontrollen / Prüfungen	Regelmäßige Projekttreffen, Vortrag und Dokumentation
Lehrveranstaltungen / SWS	Projektpraktikum Mikroelektronik bestehend i.d.R. aus einer individuellen, im Team von 2 bis max. 4 Studierenden zu lösenden Projektaufgabe nach individueller Absprache.
Arbeitsaufwand	Konzeption, Realisierung, Präsentation und Dokumentation. Zeiteinteilung und Durchführung 120 h
Modulnote	Benotet

Lernziele/Kompetenzen

Umsetzung einfacher Aufgabenstellung aus dem Gebiet der Mikroelektronik. Erfahrung in berufsnaher Arbeitsweise und Problemlösung sammeln. Dies schließt ein: Formulierung des Problems, Auswahl der geeigneten Lösungsmethoden, Ausführung der Methode, Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse.

Je nach Aufgabenstellung Hardware-basiert und/oder Software-basiert.

Inhalt

Teams erhalten Aufgabenstellungen aus aktuellen Arbeitsgebieten der Mikroelektronik die mit FPGA-Programmierung gelöst werden.
Die Projektteams werden laufend betreut und bei der Durchführung begleitet u.a. bei regelmäßigen Projekttreffen.

Weitere Informationen

Das Praktikum kann nur eingebracht werden, wenn die Veranstaltung nicht schon im Bachelor eingebracht wurde.

Interessenten werden gebeten, sich als Team am Lehrstuhl für Mikroelektronik zu melden um Aufgabenstellung sowie spezifische Durchführungsbedingungen frühzeitig abzusprechen.

Modul **Kleines Projektpraktikum (im Team)**					Abk.
Studiensem. **2,3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **Jedes WS+SS**	Dauer **1 Semester**	SWS **Nach Abspr.**	ECTS-Punkte **3**

Modulverantwortliche/r	Prüfungsausschuss Master Quantum Engineering
Dozent/inn/en	Professor(inn)en der Fachrichtungen Physik und Systems Engineering
Zuordnung zum Curriculum	Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kategorie fachspezifische Praktika Master Quantum Engineering, Fachspezifische Praktika
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen
Leistungskontrollen / Prüfungen	Regelmäßige Projekttreffen, Vortrag und Dokumentation.
Lehrveranstaltungen / SWS	Projektpraktikum, bestehend aus einer individuellen, im Team von 2 bis max. 6 Studierenden zu lösenden Projektaufgabe nach individueller Absprache.
Arbeitsaufwand	Gesamt 90 h Zeitaufwand je Studierendem für Konzeption, Realisierung, Präsentation und Dokumentation. Zeiteinteilung und Durchführung nach individueller Absprache passend zur Aufgabenstellung.
Modulnote	Benotet

Lernziele/Kompetenzen
Realisierung komplexerer Aufgaben aus Quantentechnologien, daher neben fachlicher Vertiefung auch Erprobung von Teamarbeit, Projektplanung und -kontrolle sowie Dokumentation der Ergebnisse. Je nach Aufgabenstellung auch Hardware- und/oder Softwarerealisierungen.

Inhalt
Nach individueller Absprache. Teams erhalten Aufgabestellungen aus aktuellen Arbeitsgebieten der Quantentechnologien, z.B. im Rahmen von laufenden Forschungsvorhaben oder Kooperationen mit industriellen Partnern. Die Projektteams werden laufend betreut und bei der Durchführung begleitet im Rahmen regelmäßiger Projekttreffen.

Weitere Informationen
Interessenten werden gebeten, sich als Team an einem Lehrstuhl der gewünschten Ausrichtung zu melden und mögliche Aufgabenstellungen sowie spezifische Durchführungsbedingungen frühzeitig abzusprechen. Ein Anspruch auf Vergabe eines Themas besteht nicht!

Unterrichtssprache: deutsch oder englisch, nach Absprache

Literaturhinweise:
- Je nach Aufgabenstellung, neben Lehrbüchern auch z.B. Journalpublikationen, Konferenzbände und/oder Abschlussarbeiten.

Modul **Großes Projektpraktikum (im Team)**					Abk.
Studiensem. **2,3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **Jedes WS+SS**	Dauer **1 Semester**	SWS **Nach Abspr.**	ECTS-Punkte **6**

Modulverantwortliche/r	Prüfungsausschuss Master Quantum Engineering
Dozent/inn/en	Professor(inn)en der Fachrichtungen Physik und Systems Engineering
Zuordnung zum Curriculum	Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kategorie fachspezifische Praktika Master Quantum Engineering, Fachspezifische Praktika
Zulassungsvoraussetzungen	Keine formalen Voraussetzungen
Leistungskontrollen / Prüfungen	Regelmäßige Projekttreffen, Vortrag und Dokumentation.
Lehrveranstaltungen / SWS	Projektpraktikum, bestehend aus einer individuellen, im Team von 2 bis max. 6 Studierenden zu lösenden Projektaufgabe nach individueller Absprache.
Arbeitsaufwand	Gesamt 180 h Zeitaufwand je Studierendem für Konzeption, Realisierung, Präsentation und Dokumentation. Zeiteinteilung und Durchführung nach individueller Absprache passend zur Aufgabenstellung.
Modulnote	Benotet

Lernziele/Kompetenzen
Realisierung komplexerer Aufgaben aus Quantentechnologien im Team, daher neben fachlicher Vertiefung auch Erprobung von Teamarbeit, Projektplanung und -kontrolle sowie Dokumentation der Ergebnisse. Je nach Aufgabenstellung auch Hardware- und/oder Softwarerealisierungen.

Inhalt
Nach individueller Absprache. Teams erhalten Aufgabestellungen aus aktuellen Arbeitsgebieten der Mikrosystemtechnik und/oder Nanostrukturphysik, z.B. im Rahmen von laufenden Forschungsvorhaben oder Kooperationen mit industriellen Partnern. Die Projektteams werden laufend betreut und bei der Durchführung begleitet im Rahmen regelmäßiger Projekttreffen.

Weitere Informationen
Interessenten werden gebeten, sich als Team an einem Lehrstuhl der gewünschten Ausrichtung zu melden und mögliche Aufgabenstellungen sowie spezifische Durchführungsbedingungen frühzeitig abzusprechen. Ein Anspruch auf Vergabe eines Themas besteht nicht!

Unterrichtssprache: deutsch oder englisch, nach Absprache

Literaturhinweise:
- Je nach Aufgabenstellung, neben Lehrbüchern auch z.B. Journalpublikationen, Konferenzbände und/oder Abschlussarbeiten.

Höhere Mathematik für Ingenieure IV					**HMI4**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
2	**2**	**jährlich**	**1 Semester**	**6**	**9**

Modulverantwortliche/r	Studiendekan/in der NT-Fakultät
Dozent/inn/en	Dozenten/Dozentinnen der Mathematik
Zuordnung zum Curriculum	Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kategorie allgemeine Wahlpflicht Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Zum Modul: keine
Leistungskontrollen / Prüfungen	benotete schriftliche Abschlussprüfung; Die Zulassung zur Prüfung erfordert die erfolgreiche Bearbeitung der Übungsaufgaben (Bekanntgabe der genauen Regeln zu Beginn der Lehrveranstaltung)
Lehrveranstaltungen / SWS	Höhere Mathematik für Ingenieure IV: Vorlesung: 4 SWS, Übung: 2 SWS
Arbeitsaufwand	Präsenzzeit Vorlesung + Übungen 15 Wochen 6 SWS 90 h Vor- und Nachbereitung, Übungsbearbeitung 120 h Klausurvorbereitung 60 h Summe 270 h (9 CP)
Modulnote	Abschlussprüfungsnote

Lernziele/Kompetenzen

- Beherrschung der grundlegenden Methoden und Techniken der linearen Algebra, der Analysis einer und mehrerer Veränderlicher und der Numerik
- Die Fähigkeit, diese zum Lösen von Problemen einzusetzen (auch unter Benutzung von Computern)

Inhalt

Vorlesung und Übung Höhere Mathematik für Ingenieure IV (9 CP):

- Fehlerrechnung
- Lineare Gleichungssysteme
- Eigenwertprobleme
- Interpolation
- Numerische Integration
- Nichtlineare Gleichungssysteme
- Integraltransformationen (Fourier-Reihe, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation)
- Banachscher Fixpunktsatz
- Satz von Picard-Lindelöf, Anfangswertprobleme
- Numerik gewöhnlicher Differentialgleichungen

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: deutsch
Literaturhinweise: Bekanntgabe jeweils vor Beginn der Vorlesung auf der Vorlesungsseite im Internet.
Methoden: Information durch Vorlesung; Vertiefung durch Eigentätigkeit
(Nacharbeit, aktive Teilnahme an den Übungen).
Anmeldung: Bekanntgabe jeweils rechtzeitig vor Semesterbeginn durch Aushang und im Internet.

Modulelement **Kontinuumsmechanik**					Abk. **KonM**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1,3	**3**	**Jedes WS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Modulverantwortliche/r Diebels

Dozent/inn/en Diebels

Zuordnung zum Curriculum Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Wahlpflicht
Master Systems Engineering, Kernbereich
Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen keine

Leistungskontrollen / Prüfungen Schriftliche oder mündliche Prüfung
(Bekanntgabe des Modus zu Beginn der Vorlesung)

Lehrveranstaltungen / SWS V2 Ü1

Arbeitsaufwand

15 Wochen, 3 SWS	45 h
Vor- und Nachbereitung, Prüfung	75 h
Summe	120 h (4 CP)

Modulnote

Lernziele/Kompetenzen
Die Studierenden erwerben Kenntnisse in:

- Grundkonzepte der nichtlinearen Kontinuumsmechanik
- Verständnis der kinematischen Beziehungen
- Physikalische Erhaltungssätze der Thermomechanik
- Ansätze zur Materialmodellierung

Inhalt

- Grundkonzepte der Kontinuumsmechanik, materieller Punkt und materieller Körper
- Kinematische Beziehungen: Bewegungsfunktion, Geschwindigkeit, Deformationsgradient, Verzerrungstensoren
- Bilanzgleichungen für Masse, Impuls, Drall, Energie und Entropie in materieller und räumlicher Darstellung
- Prinzipien der Materialtheorie
- Auswertung der Dissipationsungleichung für hyperelastisches Materialverhalten

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: deutsch

Literaturhinweise:
Skripten zu den Vorlesungen
P. Haupt: Continuum Mechanics and Theory of Materials, Springer
R. Greve: Kontinuumsmechanik, Springer

Finite Elemente in der Mechanik					Abk. **FEMM**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
2	**2**	**Jedes SS**	**1 Semester**	**3**	**4**

Modulverantwortliche/r Diebels

Dozent/inn/en Diebels/Ripplinger

Zuordnung zum Curriculum
Master Materialwissenschaft, Wahlpflicht
Master Werkstofftechnik, Wahlbereich
Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Wahlpflicht
Master Systems Engineering, Kernbereich
Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen Kenntnisse aus **KonM** werden empfohlen

Leistungskontrollen / Prüfungen Schriftliche Prüfung
(Bekanntgabe des Modus zu Beginn der Vorlesung)

Lehrveranstaltungen / SWS V2 Ü1

Arbeitsaufwand

15 Wochen, 3 SWS	45 h
Vor- und Nachbereitung, Prüfung	75 h
Summe	120 h (4 CP)

Modulnote

Lernziele/Kompetenzen

- Verständnis der Funktionsweise nichtlinearer Finite-Elemente-Programme in der Kontinuumsmechanik
- Fähigkeit, geeignete finite Elemente für bestimmte Anwendungen auszuwählen
- Implementierung mathematischer Modelle für Simulationen

Inhalt

- Nichtlineare Gleichungssysteme
- Linearisierung von Modellgleichungen
- Materiell nichtlineare finite Elemente
- Geometrisch nichtlineare finite Elemente
- Numerische Behandlung von Elastizität und Plastizität

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: deutsch

Literaturhinweise: Skript zur Vorlesung

Modul **Empirische und statistische Modellbildung**					Abk.
Studiensem. **2**	Regelstudiensem. **2**	Turnus **Jedes SS**	Dauer **1 Semester**	SWS **3**	ECTS-Punkte **4**

Modulverantwortliche/r	Bähre
Dozent/inn/en	Bähre
Zuordnung zum Curriculum	Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Wahlpflicht Master Systems Engineering, Kernbereich Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	keine
Leistungskontrollen / Prüfungen	Schriftliche oder mündliche Abschlussprüfung (Bekanntgabe des Modus zu Beginn der Vorlesung)
Lehrveranstaltungen / SWS	Empirische und statistische Modellbildung - Vorlesung 2 SWS - Übung 1 SWS
Arbeitsaufwand	Vorlesung 15 Wochen, 2 SWS: 30 h Übung, 1 SWS: 15 h Vorbereitung, Nachbereitung, Prüfung: 75 h
Modulnote	Note der schriftlichen bzw. der mündlichen Abschlussprüfung

Lernziele/Kompetenzen
Ziel des Moduls ist die Vermittlung von Wissen zu Prinzipien und Anwendung empirischer und statistischer Modelle bei ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen. Neben einem Überblick über grundlegende Begriffe und Vorgehensweisen werden Methoden der Datenermittlung und Modellerstellung sowie beispielhafte Anwendungen vermittelt. Die Lehrveranstaltung befähigt die Studenten, verschiedene Methoden zur Erstellung empirischer und statistischer Modelle mit ihren Möglichkeiten und Grenzen zu kennen und auf einzelne ingenieurwissenschaftliche Aufgaben anzuwenden.

Inhalt
Begriffsklärung Empirie, Statistik, Modellierung; statistische Modellbildung; lineare und nichtlineare Regression; Interpolation und Extrapolation; statistische Versuchsplanung; Mustererkennung; künstliche neuronale Netze; Anwendungen in der Fertigungstechnik: Modelle in der Zerspanungstechnik, Prozessüberwachung, Qualitätssicherung, Modellierung und Simulation von Schleifprozessen

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: deutsch

Literaturhinweise: werden in Vorlesung bekannt gegeben

Studium generale					**WPf**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
1,2,3	**3**	**jährlich**	**1 Semester je Veranstaltung**	**je nach Modulelement**	**Je nach Modulelement**

Modulverantwortliche/r Studiendekan/in der NT-Fakultät

Dozent/inn/en N.N.

Zuordnung zum Curriculum Allgemeine Wahlpflicht, Master Quantum Engineering

Zulassungsvoraussetzungen Keine formalen Zugangsvoraussetzungen.

Leistungskontrollen / Prüfungen Klausur oder mündliche Prüfungen

Lehrveranstaltungen / SWS Vorlesungen, Seminare, Übungen

Arbeitsaufwand Siehe Beschreibungen der einzelnen Modulelemente.

Modulnote Unbenotet

Lernziele/Kompetenzen

- Vertiefung von Fremdsprachenkenntnissen.
- Erweiterung sozialer, betriebswirtschaftlicher und sprachlicher Kompetenzen sowie Erlangen praktischer Fertigkeiten als Vorbereitung auf den Berufseinstieg.

Inhalt
Zugelassene Lehrveranstaltungen:

- z.B. Patent- und Innovationsmanagement
- z.B. Unternehmensgründung
- z.B. Einführung in die BWL
- z.B. Technologiemanagement
- Sprachkurse (Lebende Sprache)
- Schlüsselkompetenzen gem. §9 der Prüfungsordnung

Gemäß StO §6 Abs. 5 kann der Prüfungsausschuss weitere Lehrveranstaltungen zulassen.

Weitere Informationen

Mit Ausnahme von Sprachkursen wird in der Regel in deutscher oder englischer Sprache unterrichtet.

Modul **Sprachkurse (Niveau mindestens B1, Englisch mindestens C1)**					Abk.
Studiensem. **1-3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **Jedes Semester**	Dauer **1 Sem.**	SWS **2-4 & indiv.**	ECTS-Punkte **Max. 4**

Modulverantwortliche/r	Dr. Peter Tischer, Leiter des Sprachenzentrums
Dozent/inn/en	https://www.szsb.uni-saarland.de/personal.html
Zuordnung zum Curriculum	Master Physik, nicht-physikalische Wahlpflicht (einbringbar bei Niveau mindestens B1, für Englisch mindestens C1)
Zulassungsvoraussetzungen	Für Anfänger: keine Französisch, Englisch, Spanisch: Obligatorischer Einstufungstest Fortgeschrittenenkurse: Nachweise über belegte Kurse bzw. Gespräche mit dem Dozenten
Leistungskontrollen / Prüfungen	Abschlussklausur und Anwesenheit beim Unterricht (mindestens 80%)
Lehrveranstaltungen / SWS	Seminar mit 2 -4 SWS, eigenständiges Lernen mit monatlichen Treffen und 4 wöchige Intensivkurse mit 4 h Unterricht täglich. Gruppe von 6 – 40 Studierenden
Arbeitsaufwand	2 SWS: 90 h = 30 h Seminar und 60 h Eigenstudium 4 SWS: 180 h = 80 h Seminar und 100 h Eigenstudium
Modulnote	Unbenotet

Lernziele/Kompetenzen

Auf entsprechendem Niveau:

- Leseverstehen
- Hörverstehen
- Sprechfertigkeit
- Grammatik
- Schreibtraining

Inhalt

Abhängig vom Kurs

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: Deutsch und unterrichtete Sprache

Literatur: Kursabhängig

Medienform: Bücher, Beamer, Folien, Tafel, Sprachlabor, Video

Modul **Berufspraktische Tätigkeit**					Abk.
Studiensem. **1, 2, 3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **Jedes WS+SS**	Dauer **max. 8 Wochen**	SWS **---**	ECTS-Punkte **max. 9**

Modulverantwortliche/r Studiendekan/in der NT-Fakultät

Dozent/inn/en Prüfer(in) nach Paragraph §18 „Berufspraktische Tätigkeit“ der Prüfungsordnung.

Zuordnung zum Curriculum Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Kategorie Allgemeine Wahlpflicht
Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht

Zulassungsvoraussetzungen Positive Begutachtung des Themengebiets und Inhaltes der Berufspraktischen Tätigkeit durch eine(n) Prüfer(in) nach Paragraph §18 „Berufspraktische Tätigkeit“ der Prüfungsordnung. Ansonsten gelten die Richtlinien für die berufspraktische Tätigkeit der Fachrichtung Systems Engineering.

Leistungskontrollen / Prüfungen Kolloquium

Lehrveranstaltungen / SWS Praktikum in der Industrie
Vortrag mit Kolloquium

Arbeitsaufwand Bis zu 8 Wochen; je nach Zeitaufwand wird eine entsprechende Anzahl CP vergeben (pro 30h Arbeitsaufwand 1 CP)

Modulnote Unbenotet

Lernziele/Kompetenzen

- Umsetzung und Anwendung der Lehrinhalte des Studiengangs
- Zielorientiertes Arbeiten in einem Team unter Randbedingungen der Industrie
- Erwerb von Fertigkeiten zur Dokumentation des Arbeitsfortschritts
- Fähigkeit zur Präsentation und Verteidigung der Ergebnisse

Inhalt

- Bearbeitung eines Themengebietes der Mechatronik in einem industriellen Umfeld
- Präsentation der Arbeiten und Ergebnisse in einem Vortrag mit abschließendem Kolloquium

---

Weitere Informationen

Unterrichtssprache: deutsch oder englisch, auf Antrag und nach Absprache sind auch andere Fremdsprachen möglich.

Literaturhinweise:

Tutortätigkeit (Wahlpflicht)					**AWP-TT**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
3	**3**	**Jedes Semester**	**1 Semester**	**2**	**2**

Modulverantwortliche/r	Studiendekan/in der NT-Fakultät	
Dozent/inn/en	Dozent(inn)en der Physik bzw. Systems Engineering	
Zuordnung zum Curriculum	Bachelor Mikrotechnologie und Nanostrukturen, Wahlpflicht Master Mikrotechnologie und Nanostrukturen, allgemeine Wahlpflicht Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht	
Zulassungsvoraussetzungen	Erfolgreicher Abschluss des zu betreuenden Moduls	
Leistungskontrollen / Prüfungen	Hospitation der von den Tutoren abgehaltenen Lehrveranstaltungen	
Lehrveranstaltungen / SWS	Betreuung von Übungen	
Arbeitsaufwand	Präsenzzeit Vorbereitung der Übungen/Praktika	15 Stunden 45 Stunden
	Summe	60 Stunden
Modulnote	Keine	

Lernziele / Kompetenzen

- Einblick in die Organisation von Lehrveranstaltungen und Umsetzung methodischer Ziele
- Didaktische Aufbereitung komplexer physikalischer bzw. ing.-wiss. Sachverhalte
- Fähigkeit zur Ausrichtung eines Fachvortrags am Vorwissen des Auditoriums

Inhalt

- Einführung in die fachdidaktischen Aspekte der jeweiligen Lehrveranstaltung
- Moderieren von Übungsgruppen / Betreuung von Praktikumsversuchen
- Korrektur von schriftlichen Ausarbeitungen
- Teilnahme an den Besprechungen der Übungsgruppenleiter/Praktikumsbetreuer

Weitere Informationen

Forschungsseminar					**FS**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
3	**3**	**WS&SS**	**1 Semester**	**10**	**9**

Modulverantwortliche/r	Prüfungsausschuss Quantum Engineering
Dozent/inn/en	DozentInnen der Physik oder Systems Engineering
Zuordnung zum Curriculum	Master Physik, Pflicht Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Erwerb von mindestens 45 CPs
Leistungskontrollen / Prüfungen	Mündliche Präsentation von wissenschaftlichen Artikeln aus dem Themengebiet der Master-Arbeit
Lehrveranstaltungen / SWS	Seminar (2 SWS), max. Gruppengröße 15
Arbeitsaufwand	Präsenzzeit 30 Stunden Vorbereitung des Vortrags, Literaturstudium 240 Stunden --- Summe 270 Stunden
Modulnote	keine

Lernziele / Kompetenzen

- Befähigung zum eigenständigen wiss. Arbeiten in definiertem Rahmen.
- Planung und eigenständigen Durchführung von definierten Forschungsprojekten
- Erstellung von Projektdokumentationen, die die notwendigen Information zur Reproduktion der erzielten Ergebnisse enthalten

Inhalt

- Anleitung zur systematischen Literaturrecherche im Hinblick auf die Master-Arbeit
- Entwicklung einer Projektskizze und Ablaufplans des Masterprojekts unter Anleitung eines Dozenten der Physik
- Anleitung zur sachgerechten Dokumentation des Projektverlaufs

Weitere Informationen:

Unterrichtssprache: Deutsch/Englisch

Modul

Modul **Projektseminar**					Abk. **PS**
Studiensem. **3**	Regelstudiensem. **3**	Turnus **WS/SS**	Dauer **1 Semester**	SWS **4**	ECTS-Punkte **6**

Modulverantwortliche/r	Prüfungsausschuss Quantum Engineering
Dozent/inn/en	DozentInnen der Physik oder Systems Engineering
Zuordnung zum Curriculum	Master Quantum Engineering, Allgemeine Wahlpflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Keine
Leistungskontrollen / Prüfungen	Mündliche Präsentation von wissenschaftlichen Artikeln aus dem Themengebiet der Master-Arbeit oder schriftliche Ausarbeitung.
Lehrveranstaltungen / SWS	Seminar (2 SWS), max. Gruppengröße 15
Arbeitsaufwand	Präsenzzeit 15 Stunden Vorbereitung des Vortrags, Literaturstudium 165 Stunden --- Summe 180 Stunden
Modulnote	benotet

Lernziele / Kompetenzen

- Befähigung zum eigenständigen wiss. Arbeiten in definiertem Rahmen.
- Planung und eigenständigen Durchführung von definierten Forschungsprojekten
- Erstellung von Projektdokumentationen, die die notwendigen Information zur Reproduktion der erzielten Ergebnisse enthalten

Inhalt

- Anleitung zur systematischen Literaturrecherche im Hinblick auf die Master-Arbeit
- Entwicklung einer Projektskizze und Ablaufplans des Masterprojekts unter Anleitung eines/r der DozentInnen der Physik oder Systems Engineering
- Anleitung zur sachgerechten Dokumentation des Projektverlaufs

Weitere Informationen:

Unterrichtssprache: Deutsch/Englisch

Laborprojekt					**FS**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
3	**3**	**WS&SS**	**1 Semester**	**10**	**15**

Modulverantwortliche/r **Dozent/inn/en**	ProfessorInnen der Physik Dozenten der Physik
Zuordnung zum Curriculum	Pflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Erwerb von mindestens 65 CPs
Leistungskontrollen / Prüfungen	Anfertigen eines Abschlussberichts
Lehrveranstaltungen / SWS **Arbeitsaufwand**	Blockveranstaltung: 10 Wochen mit täglich ca 8. Stunden Bearbeitung der Fragestellung und Anfertigung des Berichts: 450 Stunden
Modulnote	keine

Lernziele / Kompetenzen

- Heranführung an die selbständige Durchführung von wissenschaftlichen Projekten
- Zur Anfertigung der Master-Arbeit erforderliche wissenschaftliche Methoden in praktischer Anwendung durchführen können.

Inhalt

- Einarbeitung in die Methodik der Master-Arbeit
- Vorbereitung auf die Bearbeitung der wissenschaftlichen Fragestellung der Master-Arbeit

Weitere Informationen:

Unterrichtssprache: Deutsch/Englisch

Master-Arbeit					**MA**
Studiensem.	Regelstudiensem.	Turnus	Dauer	SWS	ECTS-Punkte
4	**4**	**WS & SS**	**1 Semester**		**30**

Modulverantwortliche/r	Prüfungsausschuss Quantum Engineering
Dozent/inn/en	DozentInnen der Physik oder Systems Engineering
Zuordnung zum Curriculum	Pflicht
Zulassungsvoraussetzungen	Gemäß Paragraph „Zulassung zur Master-Arbeit“ in der jeweils gültigen Fassung der Prüfungsordnung
Leistungskontrollen / Prüfungen	• Anfertigung Master-Arbeit • Wissenschaftlicher Vortrag und Kolloquium über den Inhalt der Masterarbeit
Lehrveranstaltungen / SWS **Arbeitsaufwand**	Planung und Durchführung des Forschungsprojekts, Dokumentation des Projektverlaufs und Anfertigung der Master-Arbeit in einem Zeitraum von 6 Monate ---------- Insgesamt 900 Stunden
Modulnote	Aus der Beurteilung der Master-Arbeit

Lernziele / Kompetenzen

- Befähigung zum eigenständigen wissenschaftlichen Arbeiten auf definierten Gebieten.
- Planung und eigenständigen Durchführung von Forschungsprojekten in definiertem Rahmen.
- Erstellung von Projektdokumentationen, die die notwendigen Informationen zur Reproduktion der erzielten Ergebnisse enthalten
- Schriftliche Präsentation von Forschungsergebnissen in wissenschaftlicher Sprache

Inhalt

- Durchführung eines Projekts zu einer aktuellen Forschungsthematik in einer Arbeitsgruppe der Fachrichtungen der Physik oder Systems Engineering unter Anleitung eines Hochschullehrers.
- Anfertigung der Master-Arbeit.