



# Modulbeschreibung

## **M.Sc. Elektrotechnik und Informationstechnik PO19 Elektronik und Photonik**

Stand: November 2022

# Modul- und Veranstaltungsverzeichnis

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Dielektrische und magnetische Materialeigenschaften</b>			
<b>Course title English</b>			
Dielectric and Magnetic Material Properties			
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
In dieser Veranstaltung werden die theoretischen Grundlagen zum Verständnis der dielektrischen und der magnetischen Materialeigenschaften gelehrt. Es werden die den dielektrischen Materialien zugrunde liegenden Polarisationsmechanismen anhand von Modellen erläutert. Der Magnetismus wird auf der Basis atomarer Vorgänge beschrieben. Hysteresebehaftete dielektrische und magnetische Materialien werden ebenso diskutiert wie nichtlineare Prozesse. Parallelen zwischen beiden Materialklassen werden aufgezeigt. Anwendungsbeispiele aus der Energietechnik (Isolatoren), der Mikro- und Nanoelektronik (Isolatoren, Ladungsspeicher, magnetische Speicher Sensoren) und der Nanooptoelektronik (Wellenleiter, Metamaterialien) werden diskutiert und unter nanospezifischen Gesichtspunkten erläutert.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Im Anschluss an diese Vorlesung ist die oder der Studierende in der Lage, das makroskopische dielektrische und magnetische Verhalten von Werkstoffen und Nanostrukturen anhand atomarer Vorgänge zu erklären. Sie oder er kann die unterschiedlichen Materialien nach verschiedenen Gesichtspunkten sortieren. Für definierte Anwendungen kann sie oder er geeignete Materialien und Materialkombinationen auswählen.

<b>Description / Content English</b>
The content of this lecture are the fundamentals of dielectric and magnetic materials. For the dielectric materials the mechanisms of the polarisation will be discussed. The magnetismus will be explained on the atomic basis. Correlations between both material classes will be shown and examples of applications will be discussed.
<b>Learning objectives / skills English</b>
The students are able to explain the macroscopic behaviour of the different material classes on ther basis of their atomic structure. They can find for each application the right material.

<b>Literatur</b>
1) W. Kowalsky: Dielektrische Werkstoffe der Elektrotechnik und Photonik, B. G. Teubner Stuttgart 1994
2) G. Fasching: Werkstoffe der Elektrotechnik, Springer-Verlag 1994
3) E. Ivers-Tiffey, W. von Münch: Werkstoffe der Elektrotechnik, B. G. Teubner 2004
4) W. v. Münch: Elektrische und magnetische Eigenschaften der Materie, B. G. Teubner 1987
5) K. Kopitzki: Einführung in die Festkörperphysik, B. G. Teubner 1993
6) J. F. Nye: Physical properties of crystals, Oxford Science Publications 1985
7) Ch. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik, Oldenburg Verlag 2002

- 8) S. Chikazumi: Physics of Magnetism, Robert E. Krieger Publishing Company, 1978
- 9) R. Waser [Ed.], Nanoelectronics and Information Technology, Advanced Electronic Materials and Novel Devices, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003

**Kursname laut Prüfungsordnung****Digitale Schaltungstechnik****Course title English**

Digital Circuit Technology

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Vorlesung und übung bietet eine Einführung in die Thematik der digitalen Integrierten Schaltungen (IC's). Es werden Informationen zur Herstellung von CMOS Schaltungen vermittelt und einfache CMOS Gatterschaltungen wie z. B. Inverter behandelt. Ferner werden wichtige Eigenschaften von digitalen Schaltungen wie Verzögerungszeiten, Störabstand oder Leistungsaufnahme erläutert. Es werden statische und dynamische Gatter, sowie diverse Schaltungsrealisierungen in sequentieller oder kombinatorischer Logik, unter besonderer Berücksichtigung des Timing-Verhaltens, besprochen. Diese neu zu erwerbenden Kenntnisse bilden dann die Grundlage für das Verständnis von komplexeren Arithmetik- und Speicher-Bauelementen. Ein abschließendes Kapitel widmet sich den FPGAs. Ihre Architektur wird vorgestellt und die Vorgehensweise bei der Schaltungsimplementierung anhand von einigen Beispielen vermittelt.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Der Student hat umfassende Kenntnisse in der digitalen Schaltungstechnik erlangt. Er kennt Standardzellen und deren Designprozess durch Stickdiagramme. Er ist nun in der Lage digitale Schaltungen auf Chipebene zu entwerfen und diese hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu analysieren.

Der Student kennt die Architektur von FPGA Bausteinen und weiß wie logische Schaltungen in diesem implementiert werden.

**Description / Content English**

This lecture and the appendant exercise will give an introduction to the topic of digital Integrated Circuits (IC). Manufacturing processes of CMOS devices and simple circuits using CMOS gates (e.g. Inverter) will be discussed. Additionally, important characteristics of digital circuits (e.g. delays, noise margin and power consumption) will be explained. In consideration of timing characteristics, static and dynamic gates as well as various circuits in sequential and combinational logic will be illustrated. This knowledge will be needed to understand more complex circuits which are used to develop memories or arithmetic operations.

The last chapter will introduce to FPGA's by explaining its architecture and presenting several examples of circuit implementation.

**Learning objectives / skills English**

The student will have extended knowledge in the topic of digital circuits. He knows standard cells and their design processes using stick diagrams. He is able to develop digital circuits on chip level and to analyse its characteristics.

The student knows the architecture of FPGA devices and is able to implement logic circuits into it.

**Literatur**

- J. Rabaey, A. Chandrakasan, B. Nikolic: "Digital Integrated Circuits", Prentice Hall
- N. Weste, K. Eshnagian: "Principles of VLSI design", Addison Wiley

- N. H. E. Weste, D. Harris: "CMOS VLSI Design", 3. Auflage, Pearson Addison Wesley

**Kursname laut Prüfungsordnung****Entwurf digitaler Systeme für FPGAs Praktikum****Course title English**

Design of Digital Systems for FGPA Lab

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		3	

**Prüfungsleistung**

Die Endnote setzte sich aus folgenden Teilleistungen zusammen:

Praktischer Teil:

- erfolgreich absolvierte Praktikumstermine
- Vorbereitungsaufgaben

Schriftlicher Teil:

- 90min Klausur

Das gesamte Praktikum gilt nur als bestanden, wenn jede einzelne Teilleistung erfolgreich bestanden wurde.

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Ein FPGA (Field Programmable Gate Array) stellt ein sehr mächtiges Tool in den Händen von Entwicklern dar. Es beinhaltet logische Gatter und FlipFlops, die mit Hilfe einer Hardwarebeschreibungssprache, z.B. Verilog oder VHDL miteinander verschaltet werden können, um so individuelle digitale Logik zu realisieren. Hierbei können einfache Logikfunktionen, komplexere Module (UART, SPI, I2C, etc.), bis hin zu komplexen Gesamtsystemen wie Mikrocontrollern, Mikroprozessoren und GPU's erzeugt werden. Durch hohe Clockfrequenzen von z.B. 400 MHz kann eine hohe Datenverarbeitung erreicht werden. Ihre Wiederbeschreibbar- und somit Wiederverwendbarkeit stellt einen weiteren Vorteil dieser Bauteile dar.

In diesem Praktikum werden Sie an die Nutzung von FPGA's herangeführt. Hierfür werden Sie in den einzelnen Terminen Lösungen zum Thema in der Hardwarebeschreibungssprache Verilog programmieren und auf einem FPGA-Board testen. Als FPGA-Board wird das „Genesys Board“ mit einem Xilinx Virtex 5 Chip eingesetzt.

Eine Einführung in die Sprache Verilog erfolgt am ersten Veranstaltungstermin. Eine weitere Vertiefung der Sprache ist aber darüber hinaus erforderlich um die Aufgaben erfolgreich umzusetzen. Zugehörige Literatur kann aus der Bibliothek BA bezogen werden.

Inhalte der einzelnen Versuchsmodule:

1. Einführung in das ISE Xilinx Entwicklungstool / Einführung Verilog
2. Entwicklung eines Taktteilers
3. Ansteuerung einer Sieben-Segmentanzeige
4. Ansteuerung eines LCD-Moduls
5. Entwicklung eines UART-Moduls
6. Entwicklung eines SPI-Controllers und Ansteuerung eines Beschleunigungssensors

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Der Student hat die Grundlagen von Verilog erlernt. Er versteht das Konzept von kombinatorischen und sequenziellen Schaltungstechniken. State-Maschinen können realisiert werden um komplexe Steuerungsaufgaben zu lösen. Das Designtool ISE Xilinx kann bedient und das erstellte Programm auf einem FPGA-Board getestet werden.

### Description / Content English

A FPGA (Field Programmable Gate Array) is a useful and powerful tool for developing digital circuits. It contains logic gates and flip-flops, which can be combined by using a hardware description language like Verilog or VHDL for creating various individual digital logic circuits. It can be utilized to generate from small, simple to complex modules (UART, SPI, I2C, etc.) and further to complex systems like microcontrollers, microprocessors and GPU. Its high clock frequencies (400 MHz) in combination to parallel processing of a system can be used to achieve high data processing.

Another benefit is the ability to rewrite and reuse the FPGA for different projects.

In this lab you get familiar with the usage of FPGAs. You will use the hardware description language Verilog to create possible solutions for each lab and test it on a FPGA board. The hardware is a 'Genesys Board' including a Xilinx Virtex 5 chip.

The Labs will start with a short introduction to Verilog. For further steps the student is asked to consult the given literatures. The books can be borrowed from BA Library.

Content of the labs:

1. Introduction to the ISE Xilinx Tool/Introduction to Verilog
2. Create a clock-divider
3. Controlling a 7-seq Display
4. Controlling a LCD-module
5. Create a UART-Module
6. Create a SPI-controller and read out of an acceleration sensor

### Learning objectives / skills English

The student is familiar with the basics of Verilog. He understands the concepts of combinational and sequential logic. State-machines can be created and used for complex controlling problems. He can handle the ISE Xilinx design-tool and test the written program on an FPGA-Board.

### Literatur

1. Advanced FPGA Design, S Kilts
2. Verilog by example, B. C. Readler

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Fahrzeugtechnik</b>			
<b>Course title English</b>			
Vehicle Technology			
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			
Schriftliche Klausur (120 min)			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Die Fahrzeugtechnik ist heute einer der wichtigsten technischen Bereiche, in dem die Mechatronik als Entwicklungskonzept für technische Produkte umgesetzt wird. Das Automobil stellt dabei ein mechatronisches Gesamtsystem dar, welches neben mechanischen Teilsystemen wie Fahrwerk oder Antriebsstrang auch nichtmechanische Systemkomponenten wie Regler, Sensoren, Bremshydraulik sowie die gesamte Informationsverarbeitung umfasst. Für die Vorlesung ergibt sich vor diesem Hintergrund folgender inhaltlicher Aufbau: Grundlagen der Fahrzeugmechanik; Modellierung von Fahrzeugkomponenten (Rad-Straße-Kontakt, Antriebsstrang); Modellierung der Längs-, Quer- und Vertikaldynamik eines Kraftfahrzeuges mit besonderem Fokus auf dem linearen Einspurmodell; Anwendungen der Fahrdynamiksimulation auf unterschiedliche konkrete Fragestellungen aus der Fahrzeugsystemtechnik; Einführung in Funktion und Entwicklung von Fahrdynamikregelsystemen (wie z.B. ABS, ASR, ESP, ACC) und Fahrerassistenzsystemen.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Studierenden kennen und verstehen den Aufbau, die Funktion und das Zusammenwirken der Systeme und Komponenten eines Kraftfahrzeugs.

<b>Description / Content English</b>
Today, automotive engineering is one of the most important technical areas in which mechatronics is implemented as a development concept for technical products. The automobile represents an overall mechatronic system, which, in addition to mechanical subsystems such as chassis or drive train, also includes non-mechanical system components such as controllers, sensors, brake hydraulics and the entire information processing system. Against this background, the lecture is structured as follows: basics of vehicle mechanics; modelling of vehicle components (wheel-road contact, drive train); modelling of longitudinal, transverse and vertical dynamics of a vehicle with a special focus on the linear single-track model; applications of vehicle dynamics simulation to different concrete questions from vehicle system technology; introduction to the function and development of vehicle dynamics control systems (e.g. ABS, ASR, ESP, ACC) and driver assistance systems.
<b>Learning objectives / skills English</b>
Students will know and understand the construction, the functions and the interaction of the systems and components of the vehicle.

<b>Literatur</b>
- Eigenes Manuskript/Foliensatz
- Mitschke, M.; Wallentowitz, H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge.

- Gillespie, Th. Fundamentals of Vehicle Dynamics SAE, 1992
- Schramm, D. et al.: Fahrzeugtechnik. Technische Grundlagen aktueller und zukünftiger Kraftfahrzeuge De Gruyter Oldenbourg, 2017
- Schramm, D. et al.: Vehicle Dynamics Springer Verlag, 2018 also available in German and Chinese Language

**Kursname laut Prüfungsordnung****Halbleitertechnologie****Course title English**

Semiconductor Technology

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Herstellung von Halbleiterbauelementen und integrierten mikroelektronischen Schaltungen ist eins der komplexesten industriellen Verfahren überhaupt. Unter extremen Anforderungen an Genauigkeit eines jeden Schrittes und an die Umgebungsbedingungen der Fertigung werden die Chips hergestellt.

In der Vorlesung zur Halbleitertechnologie, die jeweils im Wintersemester gehalten wird, lernen Sie dieses interessante Gebiet kennen. Vorgestellt werden Technologien der Siliziumtechnik, mit der Mikroprozessoren, Speicher und weitere Bausteine entstehen, die Sie z.B. beim Einsatz Ihres Smartphones oder Ihres Computers nutzen. Im zweiten Teil der Vorlesung werden komplementäre Materialien und Technologien für Höchstfrequenz- und Leistungsanwendungen behandelt.

Ausgangsmaterial der integrierten Schaltungen ist hochreines, einkristallines Silizium, dessen Gewinnung am Anfang der Vorlesung steht.

Verschiedene Prozessschritte werden anschließend vorgestellt, immer in einer Mischung aus physikalischen Grundlagen und der praktischen Ausführung in einem Halbleiter-Werk, wie es z. B. im Fraunhofer-Institut besteht. Dazu gehören die Oxidation, Diffusion, Dotierung mittels Ionenimplantation, Abscheideverfahren für dünne Schichten, ätzverfahren, Messtechnik. Hervorheben möchte ich hier die Lithographie, deren unerhörte Präzision den Fortschritt in der Mikroelektronik ermöglicht hat und auch weiterhin gestattet. Mit optischer Belichtung von Maskenvorlagen sind in einer Massenfertigung Strukturgrößen von weniger als 100 nm (Das ist ein tausendstel Haardurchmesser !) möglich, neueste Verfahren mit extremen UV-Licht oder Elektronenstrahlbelichtung erreichen bis zu 5 nm Strukturgröße (~10 Atomdurchmesser).

Die Einzelschritte münden schließlich in einem (CMOS-) Gesamtprozess, der im Detail beschrieben wird.

Ziel der Herstellung ist es, CMOS-Bauelemente zu liefern. Deren Parameter und Regeln zum Entwurf werden in engem Zusammenhang zur Herstellungstechnologie vorgestellt.

Abschließend stehen die Themen Ausbeute und Zuverlässigkeit auf dem Plan. Beide beeinflussen wesentlich den Erfolg der Mikroelektronik. Während die Ausbeute, d. h. die Anzahl lieferbarer Chips im Verhältnis zum Aufwand der Fertigung über den aktuellen, kommerziellen Erfolg einer Fertigung entscheidet, sind die Maßnahmen zur Sicherung der Zuverlässigkeit wichtig, um den Einsatz der Chips für eine Lebensdauer von 10 oder mehr Jahren zu garantieren.

Zu den komplementären Technologien zählen die Verbindungshalbleiter, wie zum Beispiel Galliumnitrid (GaN), das die Beleuchtungstechnik revolutioniert hat. Neben GaN spielen SiGe, InP und GaAs eine bedeutende Rolle für Höchstfrequenzanwendungen, z.B. in mobilen Netzwerken. Die sogenannten III-V-Materialien InP und GaAs bilden die Basis für die moderne optische Kommunikation. Die Materialtechnologie für die Herstellung von

Verbindungshalbleitern ist besonders, da diese Materialien in der Natur nicht vorkommen. In diesem Zusammenhang werden für Verbindungshalbleiter spezielle Prozessschritte, z.B. hochstauflösende Elektronenstrahl-Lithografie, besprochen.

### Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sollen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung hochintegrierter (CMOS-) Schaltungen und den CMOS-Gesamtprozessablauf kennen, den Zusammenhang zwischen Technologie und Bauelementeparametern oder Designregeln verstehen, ebenso Einflüsse auf die Ausbeute bei der Herstellung und auf die Zuverlässigkeit der Bauelemente. Verfahren zur Materialsynthese der Verbindungshalbleiter sowie spezielle Prozesse werden im Zusammenhang mit Anwendungen vorgestellt und erklärt. In den Übungen werden anwendungsnah Beispiele durchgearbeitet.

### Description / Content English

Integrated circuit manufacturing technology covers silicon based (CMOS) IC fabrication. Starting from a definition of requirements to build an MOS device, all necessary processing steps used in modern IC manufacturing are described. Silicon material, oxidation, diffusion, ion implantation, lithography, plasma etching, and others are presented, taking actual developments into account. Result is a complete CMOS process flow.

The two links between technology and circuit design, i.e. device parameters and design rules are discussed. Yield models are covered next. Finally we present models to describe and improve the long term reliability of IC. Complementary technologies include compound semiconductors, such as gallium nitride (GaN), which has revolutionized lighting technology. In addition to GaN, SiGe, InP and GaAs play an important role for high frequency applications, e.g. in mobile networks. The so-called III-V materials InP and GaAs form the basis for modern optical communication. The material technology for the production of compound semiconductors is set apart from the silicon technology because the compound materials do not occur in nature. Besides material synthesis, special process steps for compound semiconductors, e.g. high-resolution electron beam lithography, are discussed.

### Learning objectives / skills English

The students should know the individual process steps for the production of highly integrated (CMOS) circuits and the overall CMOS process flow,

Understand the relationship between technology and component parameters or design rules, as well as influences on the production yield and on the Component reliability.

Processes for material synthesis of compound semiconductors as well as special processes are presented and explained in connection with applications.

Practical examples are worked through in the exercises.

### Literatur

- U. Hilleringmann: Silizium-Halbleiterechnologie, 4. Auflage, Teubner Studienbücher, 2004
- Peter Van Zant: Microchip Fabrication. A Practical Guide to Semiconductor Processing, 4th edition, McGraw-Hill Professional Publishing, 2000

**Kursname laut Prüfungsordnung****Hochfrequenzschaltungen und Leistungsbauelemente****Course title English**

RF Circuits and Power Devices

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Aufbauend auf der Analyse des Kleinsignalverhaltens elektronischer Bauelemente wie Dioden, Feldeffekttransistoren (FET) und Bipolartransistoren werden fundamentale Methoden zur Berechnung von komplexen elektronischen Schaltungen eingeführt und auf zahlreiche Beispiele in Vorlesung und übung angewandt.

Dabei werden zunächst Methoden wie z.B. Netzwerksätze behandelt und mit deren Hilfe die Eigenschaften der verschiedenen Grundschaltungen eingehend analysiert.

Darüber hinaus werden komplexe integrierte analoge NF- und HF-Schaltungen behandelt.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind fähig, die grundlegenden Konzepte elektronischer Schaltungen zu verstehen und das Verhalten einfacher Schaltungen abschätzen bzw. berechnen zu können.

**Description / Content English**

Based on the small-signal analysis of electronic devices like diodes, field-effect transistors (FET) and bipolar transistors, fundamental methods to calculate and design complex electronic circuits are introduced and applied.

Basic circuits and their characteristics are analysed and discussed in detail.

Complex analog LF- and RF-circuits are treated.

**Learning objectives / skills English**

The students are able to understand and analyse the AC-characteristics of complex analog and digital circuits.

**Literatur**

- 1 F.-J.Tegude, Elektronische Bauelemente, Skript zur Vorlesung, Universität Duisburg - Essen
- 2 K.-H. Rumpf, K.Pulvers, Elektronische Halbleiterbauelemente ? Vom Transistor zur VLSI-Schaltung, Dr. Alfred Hüthig Verlag Heidelberg, ISBN 3-7785-1345-1, 1987
- 3 R.Köstner, A.Möschwitzer, Elektronische Schaltungen, Carl Hanser Verlag, München Wien, Studienbücher, ISBN 3-446-16588-6, 1993
- 4 K.Bystron, J.Borgmeyer, Grundlagen der Technischen Elektronik, Carl Hanser Verlag, München Wien, Studienbücher, ISBN 3-446-15869-3, 1990
- 5 D. A. Neamen, Electronic Circuit Analysis and Design, Irwin Book Team, ISBN 0-256-11919-8, 1996
- 6 A.S.Sedra, K.C.Smith, Microelectronic Circuits, Oxford University Press, 1991, ISBN 019-510369-6
- 7 R.S. Muller, T.I.Kamins, Device Electronics for Integrated Circuits, John Wiley & Sons, 1986, ISBN 0-471-88758-7
- 8 R.J.Baker, H.W.Li, D.E.Boyce, CMOS: Circuit Design, Layout, And Simulation, IEEE Press Series on Microelectronic Systems, IEEE Press, 1998, ISBN 0-7803-3416-7
- 9 H.Tholl, Bauelemente der Halbleiterelektronik, B.G.Teubner, Stuttgart, 1978, II, Teil 2, ISBN 3-519-06419-7

- 10 U.Tietze, Ch.- Schenk, Halbleiterschaltungstechnik, Springer-Verlag, Berlin
- 11 J. Borgmeyer, Grundlagen der Digitaltechnik, Hanser Lehrbuch, Carl Hanser Verlag München, ISBN 3-446-15624-0
- 12 M.Shur, GaAs Devices and Circuits, Plenum Press, Microdevices: Physics and Fabrication Technologies, New York 1987, ISBN 0-306-42192-5
- 13 W.Groß, Digitale Schaltungstechnik, Vieweg Verlag, Studium Technik, ISBN-3-528-03373-8, Braunschweig/Wiesbaden, 1994

**Kursname laut Prüfungsordnung****Hochfrequenzschaltungen und Leistungsbauelemente Praktikum****Course title English**

RF Circuits and Power Devices Lab

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
1	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		1	
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Das Praktikum ergänzt die Veranstaltung "Hochfrequenz-FET- und Bipolarelektronik" und umfasst 3 Versuche. Es werden

- analoge Grundschatungen gemessen und analysiert,
- HF-Modelle von Feldeffekt- und Bipolartransistoren untersucht sowie
- Verstärkerschaltungen auf Basis von Feldeffektransistoren mittels einfacher Modelle und eines Schaltkreissimulators untersucht.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage Bauelemente und einfache Schaltungen der Elektronik und Hochfrequenztechnik messtechnisch zu erfassen und theoretisches Wissen über Grundlagen und Verfahren der Elektronik und Hochfrequenztechnik auf praktische Funktionen anzuwenden.

**Description / Content English**

The lab is a supplement of the lecture "RF-FET and Bipolar Electronics" to intensify the understanding of the analysis of electronic circuits.

It consists of three practical exercises:

- the investigation of analog circuits
- the investigation of RF-models of Field-Effect- and bipolar transistors and
- the analysis of amplifier circuits using a circuit simulator

**Learning objectives / skills English**

The students are able to measure electronic devices and circuits, to interpret the measurement results and to optimize amplifier circuits.

**Literatur**

- Versuchsbeschreibungen
- Vorlesungsskript zur Veranstaltung "Grundschatungen der FET- und Bipolarelektronik"

**Kursname laut Prüfungsordnung****Höchstfrequenz- und Terahertz-Halbleitertechnologien****Course title English**

High frequency and terahertz semiconductor technologies

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
3	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung vertieft die technologischen Verfahren zur Herstellung von nanostrukturierten Materialien und Komponenten und die zugehörigen Analysemethoden an aktuellen Beispielen aus der Bauelementerstellung. Dies beinhaltet:

- Moderne Wachstumstechniken für monoatomlagengenaue Schichtdeposition wie Metallorganische-Gasphasenepitaxie (MOVPE) und Molekularstrahlepitaxie (MBE), bezüglich Zusammensetzung, Kontrolle der Schichtdicke und Dotierung.
- Nutzung von Selbstorganisationsmechanismen und Templateprozessen.
- Fortgeschrittene hochauflösende Lithographieverfahren zur Erzeugung nanoskaliger Strukturen (Elektronen-Röntgenstrahl- sowie Rastersonden-Lithographie).
- Mikro- und nano-elektronische Fertigungstechniken für elektronische und optoelektronische Nanokomponenten, u.a. für Höchstfrequenzanwendungen.
- Laterale und vertikale Verarbeitung von Epitaxie-Filmen, Isolierschichten und Metallisierungen bis hin zu monolithisch integrierten nanoelektronischen Schaltungen.
- Zerstörungsfreie Analyse der Nanostrukturen und Bauelemente durch hochauflösende Röntgenstrahl-Beugung und durch die Nutzung der Wechselwirkung von Elektronensonden mit den Materialien.
- Analyseverfahren mit mechanischen Sonden (Raster-Tunnel- und die Raster-Kraft-Mikroskopie)

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind fähig, den Brückenschlag von grundlegenden Konzepten bei der Herstellung und Charakterisierung von Nanostrukturen zur konkreten Anwendung in der Fabrikation elektronischer und optoelektronischer Nanokomponenten vorzunehmen.

**Description / Content English**

The lecture should improve the knowledge on the technological procedures to fabricate nano-structured materials and components as well as the accompanying analysis methods with help of actual examples from the electronic device production.

This contains:

- Modern growth technologies for layer deposition in the range of mono-atom-layers like metal-organic vapour phase epitaxy (MOVPE) and molecular beam epitaxy (MBE), with regard to composition, control of the layer thickness and doping.
- Use of self organization mechanisms and template processes.
- Advanced high-resolution lithography procedures for the production of nano-scaled structures (electron beam, X-ray as well as scanning force lithography).
- Micro- and nano-electronic fabrication techniques for electronic and opto-electronic nano-components, e.g. for high frequency applications.

- Lateral and vertical processing of epitaxial films, insulating layers and metallisations up to monolithic integrated nano-electronic circuits.
- Non destructive analysis of nano-structures and devices by high-resolution X-ray diffraction and by the use of the interaction of electron probes with the materials.
- Analysis methods with mechanical probes (scanning tunneling and the scanning force microscope)

#### **Learning objectives / skills English**

The students are able to transfer the basic concepts concerning the fabrication and characterization of nano-structures to real applications like the fabrication of electronic and opto-electronic nano-components.

#### **Literatur**

- 1 E.H.C.Parker (ed.): The technology and Physics of Molecular Beam Epitaxy, New York, Plenum Press 1985
- 2 G.B.Stringfellow: Organometallic Vapor-phase epitaxy; Academic Press, San Diego, 1989

**Kursname laut Prüfungsordnung****How to protect your innovations****Course title English**

How to protect your innovations

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
2	WS	Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
			2

**Prüfungsleistung**

Einschließlich einiger Fragen, wie man gewerbliches Schutzrecht beantragt, aufreht erhält und durchsetzt.

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Dieses Seminar deckt alle Aspekte des Gewerblichen Rechtsschutzes ( Intellectual property law- IP law) für Bachelor und Master Studenten aller Fachrichtungen ab und wird als nicht-technisches Fach angeboten.

Themen des Seminars sind:

- Grundsätzliche Informationen über Schutzrechte, einschließlich einem Überblick über Patente, Gebrauchsmuster, Design Rechte, Handelsmarken etc.
- Was kann geschützt werden?
- Woher bekomme ich Informationen über Schutzrechte? Was kann ich mit diesen Informationen anfangen?
- Informationsmanagement
- Wie beantrage ich ein Schutzrecht?
- Veranschaulichende Beispiele für Schutzrechte wie Patente, etc.
- Andere Schutzrechte – strategische Betrachtung
- Internationales IP Law – Schutzrechte im Ausland
- Verwertung von Schutzrechten

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studenten sollen ein grundsätzliches Verständnis der Gewerblichen Schutzrechte haben und wissen:

- Welches Schutzrecht ist für welchen Aspekt der eigenen Idee geeignet?
- Welche Unterstützung kann ich bei wem erhalten?
- Worauf habe ich vor und nach der Anmeldung eines Schutzrechtes zu achten?
- Wie kann ich mein Schutzrecht durchsetzen?

**Description / Content English**

The seminar covers all aspects of intellectual property law ( IP law) for bachelor and master students of all courses as well as for students of other courses and is offered as non-technical subject. Topics of the seminar are:

- Basic information about protective rights including an overview over patents, utility models, design rights, trademarks etc.
- What can be protected?
- Where can I obtain information as to such protective rights? What can I do with such information?
- Information Management
- How to apply for a protective right?
- Illustrative examples for protective rights such as patents, etc.
- Other protective rights – strategic considerations
- International IP Law – IP rights abroad
- Exploiting IP-rights

### Learning objectives / skills English

The students should have a basic understanding of the system of IP Rights and should know:

- Which IP right protects which aspect of my innovation?
- Who can help me concerning IP rights?
- What do I have to take care of before and after filing an IP right application?
- How can I enforce my IP right?

### Literatur

- Information from the German Patent Office: Download from: [www.dpma.de](http://www.dpma.de)
- Information from the European Patent Office: Download from: [www.european-patent-office.org](http://www.european-patent-office.org)
- Information from the WIPO: Download from the WIPO.org
- Dieter Rebel, Industrial property rights, Carl Heymanns Verlag 2007
- Handbook of Industrial Property Rights, loose-leaf-collection, Carl Heymanns Verlag

**Kursname laut Prüfungsordnung****Innovationsmanagement****Course title English**

Management of Innovations

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
2	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Im Mittelpunkt der Veranstaltung stehen die Erfolgsfaktoren des Innovations-management, angefangen im nationalen Vergleich, in den (industriellen) Unternehmen bis hin zu der einzelnen kreativen Person. Das Management von Innovationen zielt nicht nur auf Produktinnovationen ab, sondern auch auf neue Strukturen, Abläufe, Führungsverhalten oder neue Anreizsysteme.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden kennen die Grundlagen und Einflussfaktoren des Managements von Innovationen und sind in der Lage, das Innovationsmanagement in dem umfassenderen Kontext des Managements sowohl auf Länderebene als auch von Organisationen und Unternehmens-strategien einzuordnen und zu bewerten.

**Description / Content English**

The lecture will focus on success factors for innovation management by assessing economies, (industrial) companies and the creative individual. The management of innovations is not focused only on product innovations but also on structures, processes, management behavior and new incentive programs.

**Learning objectives / skills English**

The students know the basics and influences of the management of innovations and can classify this management within the context of management of economies, organizations and corporate strategy and evaluate those.

**Literatur**

- Thomas Stern / Helmut Jaberg: Erfolgreiches Innovations-management. Erfolgsfaktoren – Grundmuster – Fallbeispiele. 4. überarbeitete Auflage, Verlag Gabler 2010
- Jürgen Hauschmidt, Sören Salomo: Innovationsmanagement. 4. Auflage. Verlag Vahlen, München 2007
- Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.: Innovationsindikator
- Strategy& | PwC: THE GLOBAL INNOVATION 1000 - Jährliche Veröffentlichungen
- 5. Vijay Govindarajan / Chris Trimble: Reverse Innovation. Harvard Business School Press, 10. April 2012
- Clayton M. Christensen: The Innovator's Dilemma, Harper Business, Okt. 2011

**Kursname laut Prüfungsordnung****Integrierte Analogschaltungen****Course title English**

Integrated Analog Circuits

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Lehrveranstaltung behandelt theoretische Grundlagen und praktische Konzepte, die zum Entwurf und zur Analyse von analogen CMOS-Schaltungen benötigt werden.

Sie beginnt mit einer kurzen Wiederholung der passiven und aktiven Bauelemente, die in einer CMOS-Technologie zur Verfügung stehen. Als nächstes werden Grundschatungen vorgestellt, wie der MOS-Schalter, Inverter, Kaskoden, Stromquellen, Stromspiegel und Differenzstufen, einschließlich einer Analyse des Groß- und Kleinsignalverhaltens, sowie Frequenzgang und Stabilität. Fügt man diese Einzelteile zusammen, gelangt man zum Entwurf von CMOS-Operationsverstärkern.

Abgetastete Signale spielen in der analogen CMOS-Technik eine herausragende Rolle. Daher besteht der zweite Teil in einer Einführung in zeitdiskrete Signale und ihre Nutzung in der Schalter-Kondensator-Technik. SC-Grundschatungen werden vorgestellt, ebenso ihre Anwendung im Entwurf von SC-Filtern und D/A- oder A/D-Wandlern.

Im Präsenzstudium wird die Vorlesung ergänzt durch Praktikumsversuche, die den kompletten Entwurf einer CMOS-Analogschatzung abdecken. Dabei werden moderne CAD-Werkzeuge eingesetzt.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

- Die Studierenden sind fähig zur / zum
- Analyse analoger integrierter Schaltungen
  - Analyse von Gleich- und Wechselspannungsverhalten
  - Analyse einfacher zeitdiskreter Schaltungen
  - Aufbau von Verstärkern, Filtern, A/D- und D/A-Umsetzern

**Description / Content English**

The lecture series on analog integrated circuits covers basic and advanced concepts and practical issues needed for the analysis and design of analogue CMOS circuits.

We start with a short repetition of passive and active devices available in a CMOS process.

Basic circuits (small signal and large signal) are presented ranging from the MOS-switch over inverters, cascodes, current sources and mirrors to differential amplifiers. Included is the analysis of frequency behavior and stability.

Putting pieces together leads to the design of CMOS operational amplifiers.

Analog circuits like filters and converters greatly benefit from sampled data concepts. Therefore the second part of the lecture introduces the switched capacitor technique with its basic circuits, followed by applications like SC-filters and D/A- and A/D-converters.

The lectures are complemented with lab experiments covering the design of an analogue circuit through all the design phases using a state of the art design environment.

### **Learning objectives / skills English**

The students are able to do

- analysis of analogue integrated circuits,
- analysis of DC- and AC-characteristics,
- analysis of simple time-discrete circuits,
- construction of amplifiers, filters A/D- and D/A-Converters.

### **Literatur**

- Phillip E. Allen, Douglas R. Holberg: CMOS analog circuit design (2nd ed), Oxford Univ. Press, New York, NY 2002
- Behzad Razavi: Design of analog CMOS integrated circuits, McGraw-Hill, Boston, Mass., 2001
- Phillip E. Allen, and Edgar Sanchez-Sinencio: Switched capacitor circuits, van Nostrand Reinhold, New York, 1984
- R. Jacob Baker: CMOS circuit design, layout and simulation, 2nd edition, Wiley Interscience, IEEE Press, Piscataway, 2005

**Kursname laut Prüfungsordnung****Integrierte Analogschaltungen Praktikum****Course title English**

Integrated Analog Circuit Lab

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		3	

**Prüfungsleistung**

Die Endnote setzte sich aus folgenden Teilleistungen zusammen:

Praktischer Teil:

- erfolgreich absolvierte Praktikumstermine
- Vorbereitungsaufgaben und Protokolle

Schriftlicher Teil:

- 90min Klausur

Das gesamte Praktikum gilt nur als bestanden, wenn jede einzelne Teilleistung erfolgreich bestanden wurde.

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Das Praktikum enthält 8 Versuche, die den Entwurf, Simulation und die Analyse integrierter MOS-Schaltungen beinhalten. Sie werden mit dem weltweit verbreiteten IC Design Framework von Cadence durchgeführt, welches in Halbleiterunternehmen eingesetzt wird.

Die Praktikumstermine beinhalten:

- Einführung in die Cadence Software
- Zeichnen & Sim. einfacher Grundschatungen wie Inverter, Transmissiongates und Ausgangsstufen
- Designen, Zeichnen & Sim. von OPAMPS
- Zeichnen & Sim. von komplexeren SC-Schaltungen

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Der Student setzt seine theoretischen Kenntnisse der Schaltungstechnik in einer modernen Designumgebung um. Er kann nun Schaltpläne zeichnen und hierarchisch gliedern. Er kennt die verschiedenen Spectre Simulationsmodi und kann diese gezielt anwenden um eine Schaltung zu charakterisieren.

**Description / Content English**

This Lab contains 8 units concerning design, simulation and testing of integrated analogue MOS circuits. These units will be done by the common IC design framework from cadence, which is established at semiconductor companies.

The Labs topics are:

- Introduction to Cadence Software
- Drawing & Sim. of basic circuit arrangements like inverters, transmissiongates and output stages
- Design, Drawing & Sim. of OPAMPS
- Drawing & Sim. of complex SC-circuits

**Learning objectives / skills English**

The student will implement his/hers theoretical knowledge of circuit design into a modern CAD tool. Now, he/she can draw schematics and organize it hierarchically. He/She knows the different simulation modi of Spectre and can use them to characterize a given circuit, systematically.

## Literatur

Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung "Analoge MOS-Schaltungstechnik"

Phillip E. Allen, Douglas R. Holberg: CMOS analog circuit design (2nd ed), Oxford Univ. Press, New York, NY 2002

**Kursname laut Prüfungsordnung****Integrierte Photonik****Course title English**

Integrated Photonics

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Einleitend werden die physikalischen Grundlagen der Halbleiter, der Elektronik sowie der Optik zusammengefasst. Dazu zählen ferner die Grundlagen der Licht-Materie-Wechselwirkung und eine Diskussion der radiometrischen und photometrischen Einheiten. Im folgenden wird die Familie der Photodetektoren vorgestellt. Diese umfasst die Photoleiter, (Lawinen-) Photodioden und -transistoren sowie Detektoren für spezielle Anwendungen wie beispielsweise in der Bildaufnahme. Bei den Leuchtdioden stehen insbesondere die HB-LEDs, die blauen und UV-LEDs sowie weisse LEDs im Vordergrund, ergänzt um neue Entwicklungen im Bereich der OLEDs. Ein weiteres zentrales Kapitel stellen die Laserdioden dar. Im Mittelpunkt stehen hier: Fabry-Perot-Laser und VCSEL sowie spezielle Lasertypen wie DFB-, QC-und MQW-Laser. Als weitere optoelektronische Bauelemente werden behandelt: Modulatoren, photovoltaische und Solarzellen. Bei allen Komponenten werden die theoretischen Grundlagen behandelt, sowie die Materialauswahl, die Technologien, die Bauformen und die Kenndaten diskutiert und die Einsatzgebiete und Märkte vogestellt. Die Vorlesung schließt mit einer kurzen Übersicht über einfache optoelektronische Schaltungen und deren Bedeutung in der optoelektronischen Signalverarbeitung und -erzeugung.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage, die Funktionsweise, den Aufbau und die charakteristischen technischen Daten zentraler und moderner optoelektronischer Bauelemente zu beschreiben. Sie verfügen über ein breites Wissen industrieller Anwendungen.

**Description / Content English**

First, the physical principles of semiconductors, electronics and optics are summarized together with the fundamentals of light-matter interaction and a discussion of the radiometric and photometric units, followed by the presentation of the family of photo detectors. This includes the photo conductor, (avalanche) photodiodes and transistors, and detectors for specific applications such as image acquisition. Regarding light-emitting diodes, the HB-LEDs, the blue and ultraviolet LEDs and white LEDs are discussed, complemented by new developments in the field of OLEDs. Another chapter deals with lasers. The focus here: Fabry-Perot lasers and VCSELs, as well as specific types of lasers such as DFB-QC and MQW lasers. Further opto-electronic components are considered: modulators, photovoltaic and solar cells. For all components the theoretical fundamentals are discussed, as well as material selection, technologies, designs, characteristics and application areas as well as markets. The lecture concludes with a brief overview of simple optoelectronic circuits and their importance in optoelectronic signal processing and signal generation.

**Learning objectives / skills English**

The students are capable of describing the functioning, structure and characteristic technical data of modern optoelectronic devices. They have a broad knowledge of industrial applications.

## Literatur

- [1] Graham-Smith, Francis: Optics and Photonics, Wiley, Chichester 2000
- [2] Harth, Wolfgang: Sende- und Empfangsdioden für die optische Nachrichtentechnik, Teuber, Stuttgart 1998
- [3] Bludau, Wolfgang: Halbleiter-Optoelektronik, Hanser, München 1995
- [4] Dörnen, Achim: Halbleiter für die Optoelektronik und Phototnik, Hänsel-Hohenhausen, 1994
- [5] Billings, Alan: Optics, optoelectronics and photonics, Prentice Hall, New York 1993
- [6] Ebeling, Karl Joachim: Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Berlin 1992
- [7] Paul, Reinhold: Optoelektronische Halbleiterbauelemente, Teuber, Stuttgart 1992

**Kursname laut Prüfungsordnung****IOS-Wahlkatalog****Course title English**

IOS Electives Catalogue

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
0	WS/SS	Deutsch/Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar

**Prüfungsleistung**

Modulteilprüfung (benotet)

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Mit diesem Modul soll den Studierenden die Möglichkeit gegeben werden „nicht-technische Fächer“ zu belegen. Die Veranstaltungen können aus dem gesamten Angebot der Universität Duisburg-Essen gewählt werden, wobei das „Institut für Optionale Studien“ (IOS) einen Katalog mit Veranstaltungen aus dem so genannten Ergänzungsbereich vorhält.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Ziel des Moduls ist die Vertiefung der Allgemeinbildung der Studierenden und ggf. der sprachlichen Kompetenz der Studierenden, sowie eine Stärkung der Berufsbefähigung durch das Erlernen von Teamfähigkeit und Präsentationstechniken.

**Description / Content English**

This module offers the students the opportunity to, besides the pure technical courses they take, attend some so called „non-technical subjects“ and latter provide an attest for them.

These courses can be chosen from the overall offers of the Duisburg-Essen university, whereby the „Institut für Optionale Studien“(IOS) proposes a catalog containing courses which fall under the named supplementary area.

**Learning objectives / skills English**

The module aims at deepening the general knowledge of the students and resp. at improving their language skills as well as strengthening their professional qualifications through the learning of teamwork and expose techniques.

**Literatur**

Spezifisch für das gewählte Thema

**Kursname laut Prüfungsordnung****Kognitive technische Systeme****Course title English**

Cognitive Technical Systems

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

- Einführung
- Motivation
- Aufgabenfelder
- Prinzipien
- Agenten
- Verhaltenskoordination (bei Agenten)
- Verhaltensbeschreibung
- Modellbildung menschlicher Interaktion
- Kognitive Architekturen
- Wissensrepräsentation
- Planen, Handeln, Suchen
- Lernen

Tools I: Filterung

Tools II: Klassifikation und Lernen

Aktuelle Forschungsanwendungen des Lehrstuhls SRS aus dem Arbeitsbereich Kognitive Technische Systeme:

- Situations-Operator-Modellbildung
- Stabilisierung nichtlinearer dynamischer Systeme ohne Modellkenntnis
- Personalisierte, lernfähige und interaktive Fahrerassistenz
- Planungs- und Assistenzsysteme im Luftverkehr
- Lernfähige mobile Robotik

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Automatisierungstechnik ist – auf Grund ihres fachübergreifenden, system-orientierten Ansatzes – eine interdisziplinäre Ingenieurdisziplin. Das Ziel der Veranstaltung Kognitive Technische Systeme ist, die Studierenden mit den Grundlagen der modernen Informatik, mit Filtermethoden, mit Methoden der Künstlichen Intelligenz sowie der Kognitiven Technischen Systeme vertraut zu machen, so dass sie die Weiterentwicklung der Regelungs- und Automatisierungstechnik mit den Mitteln der kognitiven künstlichen Intelligenz im Sinne einer Erweiterung erkennen können, die zugrundeliegenden Methoden beherrschen und anwenden können.

**Description / Content English**

- introduction
- motivation
- Task fields basics
- principle
- agents

- Behavior coordination (with agents)
- behavioral description
- Modelling human interaction
- cognitive architectures
- knowledge Representation
- Planning, action, Search
- learning

Tools I: Filtering

Tools II: Classification and Learning

Current research applications of the Department of SRS the workspace Cognitive Technical Systems:

- Situations operator modeling
- Stabilization of nonlinear dynamic systems without model knowledge
- Personalized, adaptive and interactive driver Assistance
- Planning and assistance systems in aviation
- Adaptive mobile robotics

#### **Learning objectives / skills English**

Automation technology - due to their interdisciplinary, systems-oriented approach - is an interdisciplinary engineering discipline. The aim of the lecture Cognitive Technical Systems, is to familiarize the students with the basics of modern computer science, with filtering methods, with methods of artificial intelligence and cognitive technical systems, enabling them to recognize the development of control and automation technology with the means of cognitive artificial intelligence in the sense of an expansion, and to master and use the underlying methods.

#### **Literatur**

Alpaydin, E.:

Maschinelles Lernen, Oldenbourg, 2008. (idt.: Machine Learning, MIT Press, 2003).

Cacciabue, P.C.:

Modelling and Simulation of Human Behaviour in System Control, Springer, 1998.

Ertel, W.:

Grundkurs der Künstlichen Intelligenz, Vieweg, 2008.

Görz, G. et al.:

Handbuch der Künstlichen Intelligenz, Oldenbourg, 2003.

Haykin, S.:

Neural Networks and Learning Machines, Pearson, 2009.

Johannsen, G.:

Mensch-Maschine-Systeme, Springer, 1993.

Russel, S.; Norvig, P.:

Künstliche Intelligenz, Pearson, 2004. (idt.: Artificial Intelligence, Prentice Hall, 2003).

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Lasertechnik</b>			
<b>Course title English</b>			
Lasers			
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Der erste Teil umfasst die Grundprinzipien und mathematische Beschreibung der elektromagnetischen Wellenausbreitung. Die Lehrveranstaltung fährt fort mit quantenmechanische Beschreibung von Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Wellen und atomaren Systemen. Anschließend wird das Prinzip des Lasers und die wesentlichen Voraussetzungen für optische Strahlungsverstärkung durch stimuliertes Emission und optische Rückkopplung mittels Resonatoren diskutiert. Weiterhin werden Zwei- und Mehrniveau-Systeme im Hinblick auf Anwendbarkeit in Lasern besprochen. Besondere Aufmerksamkeit wird den Grundkonzepten, der Funktionalität und den charakteristischen Eigenschaften unterschiedlichen Laser gewidmet. Betrachtet werden u.a. der Helium-Neon Laser, der Ar-Ionenlaser, der Excimer Laser, der Ti:Saphir Laser und Halbleiter-Laserdioden. Nach einer Diskussion wichtiger Laser-Komponenten z.B. zur Wellenlängenselektion in Multimodalen Lasern, folgen Beispiele von Laser-Anwendungen in verschiedenen technischen Gebieten darunter die Interferometrie, Spektroskopie, Kommunikationstechnik, Sensorik und Materialbearbeitung. Zukünftige Trends werden abschließend andiskutiert.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage, die prinzipielle Funktionsweise von Lasern grundlegend und umfassend zu beschreiben sowie die verschiedenen Lasertypen und Bauformen zu unterscheiden und spezifischen Einsatzgebieten zuzuordnen.

**Description / Content English**

The first lectures within the course Lasers cover the basic principles and mathematical description of electromagnetic wave propagation. The course proceeds with describing quantum mechanical interactions between electromagnetic waves and atomic materials resulting in the two fundamental laser requirements, light amplification by stimulated emission of radiation and optical cavities. Special attention is then given to thoroughly explain the basic concepts, functionalities, and characteristic specifications of different laser types. This discussion includes the Helium-Neon laser, the Ar-ion laser, Excimer lasers, Ti:Sapphire laser, and semiconductor laser diodes. Finally, examples of exploiting laser in various application areas such as interferometry, spectroscopy, communications, sensors, and material processing are discussed together with future trends.

**Learning objectives / skills English**

The students are able to thoroughly describe the principle function of a laser, to distinguish between the different laser types and designs, and to assign different laser types to specific applications.

**Literatur**

- [1] Fritz Kurt Kneubühl und Markus Werner Sigrist, „Laser“, Springer Fachmedien, Vieweg + Teubner Verlag
- [2] Helmbrecht Bauer, „Lasertechnik“, VOGEL Fachbuch, Kamprath-Reihe

- [3] Wolfgang Bludau, „Halbleiter-Optoelektronik“, Hanser-Verlag
- [4] Jürgen Eichler und Hans Joachim Eichler, „Laser:Bauformen, Strahlführung, Anwendungen“, Springer Verlag, <http://link.springer.com/book/10.1007/3-540-30305-7>
- [5] Marc Eichhorn, „Laserphysik“, Springer Verlag, <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-32648-6>
- [6] Anthony E. Siegman, "Lasers", University Science Books
- [7] Numai Takahiro, "Fundamentals of Semiconductor Laser", Springer Series Optical Sciences, vol. 93

**Kursname laut Prüfungsordnung****Master-Arbeit (einschließlich Kolloquium)****Course title English**

Master-Thesis (including colloquium)

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
30	WS/SS	Deutsch/Englisch	1
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar

**Prüfungsleistung**

Prüfungsleistung: Durchführung, Dokumentation und Präsentation der Arbeit. Die Bewertung erfolgt durch zwei Prüfer.

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Master-Arbeit ist eine Prüfungsarbeit, in der die oder der Studierende zum Abschluss des Studiums zeigen soll, dass er innerhalb einer vorgegebenen Frist von 6 Monaten ein Problem selbstständig unter Anleitung nach wissenschaftlichen Methoden bearbeiten kann.

Die Arbeit soll wie ein Projekt in der Praxis unter Beachtung von Methoden des Projektmanagements betreut und durchgeführt werden. Dokumentation und Präsentation (Kolloquium, deutsch oder englisch) sollen zeigen, dass die oder der Studierende in der Lage ist, Zusammenhänge und Ergebnisse verständlich und präzise darzustellen.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Master-Abschlussarbeit stellt eine Prüfungsleistung dar. Neben der fachlichen Vertiefung an einem Beispiel dient sie auch dem Erwerb und der Vertiefung folgender Soft-Skills:

- Selbstlernfähigkeit,
- Teamfähigkeit (Zusammenarbeit mit den Betreuern),
- Anwendung von Methoden des Projektmanagements,
- Kommunikationsfähigkeit: technische Dokumentation und Präsentation, im Fall englischer Präsentation auch Übung von Sprachkenntnissen.

**Description / Content English**

The master-thesis is an examination paper, in which the student should show that he can solve a problem self-contained under guidance by using scientific methods, within 6 months at the end of his studies.

This thesis is supervised and conducted like a project in practice considering methods of project management. Documentation and presentation (colloquium, German or English) should show that the student is able to illustrate relations and results in a coherent and precise way.

**Learning objectives / skills English**

The master-thesis represents an examination. Besides the professional engrossing by using an example the acquisition of soft skills are also gained:

- self-learning ability
- capacity of teamwork (working together with the supervisor)
- application of methods of project management
- communications skills: technical documentation and presentation, in case of an English presentation also practice of language skills

**Literatur**

Spezifisch für das gewählte Thema

**Kursname laut Prüfungsordnung**

**Masterprojekt (M-EIT)**

**Course title English**

Master Project (M-EIT)

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
8	WS/SS	Deutsch/Englisch	1
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		5	

**Prüfungsleistung**

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

**Description / Content English**

**Learning objectives / skills English**

**Literatur**

**Kursname laut Prüfungsordnung****Masterseminar Intelligente Systeme****Course title English**

Master Seminar Intelligent Systems

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS/SS	Deutsch/Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
			2
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Studierenden arbeiten sich in ein begrenztes Thema des Forschungsgebietes "Intelligente Systeme" ein, bereiten einen Vortrag dazu vor, führen diesen durch und beantworten dabei zugehörige Fragen. Hinzu kommt weiterhin eine schriftliche Ausarbeitung, die innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist zu erstellen ist. Konkrete Themen betreffen etwa die Bild- oder Spektraldatenanalyse, das Maschinelle Lernen, oder die Roboterintelligenz.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Durch die erfolgreiche Teilnahme an einem Seminar zeigen die Studierenden, dass sie ein begrenztes Thema eines Forschungsgebietes verstehen, aufarbeiten, einen Vortrag dazu vorbereiten, durchführen und Fragen beantworten, sowie eine Ausarbeitung dazu erstellen können, und zwar innerhalb einer vorgegebenen zeitlichen Frist. Im Seminar des Master-Studiengangs werden üblicherweise anspruchsvolle Themen hoher Aktualität behandelt, und eine hohe Selbständigkeit in der Bearbeitung durch die Studierenden erwartet. Damit trägt das Masterseminar, zusammen mit anderen Master-Veranstaltungen und der Master-Arbeit zur Befähigung zu selbständigem wissenschaftlichen Arbeiten bei.

**Description / Content English**

The students familiarize themselves with a limited topic of the research area "Intelligent Systems", prepare a lecture on it, carry it out and answer related questions. In addition, they write paper within a given period of time. Specific topics include image or spectral data analysis, machine learning, or robot intelligence.

**Learning objectives / skills English**

By successfully participating in the Master's seminar, students demonstrate that they can understand, work through, prepare and conduct a presentation, and answer questions on a limited topic in a research area, and prepare a paper on it within a specified time frame. The seminar of the Master's programme usually deals with challenging topics of high topicality and expects a high degree of autonomy in the work of the students. Thus, the Master's seminar, together with other Master's courses and the Master's thesis, contributes to the ability of independent scientific work.

**Literatur**

Wird individuell mitgeteilt.

**Kursname laut Prüfungsordnung**

**Mathematik E4**

**Course title English**

Mathematics E4

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
5	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Folgende Themen werden behandelt:

Vektoranalysis

- Potentialfunktionen und Kurvenintegrale
  - Integration in mehreren Veränderlichen
  - parametrisierte Flächen
  - Flächenintegrale
  - Flussintegrale
  - Der Satz von Green
  - Der Satz von Stokes
  - Der Satz von Gauß
- Partielle Differentialgleichungen
- Einführung
  - Die Greenschen Formeln
  - Poissonsche Integralformeln für die Kreisscheibe und die Kugel
  - Distributionen (Grundlagen)

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage, Potentialfunktionen von konservativen Vektorfeldern zu berechnen.

Sie können die wichtigsten Flächen parametrisieren. Sie sind in der Lage, Flächen- und Flussintegrale zu berechnen und dazu die Integralsätze zu verwenden. Sie wissen was ein Randwertproblem ist und können dies für einfache Gebiete lösen.

**Description / Content English**

The course deals with the following subjects:

Vector analysis

- Potential functions and line integrals
  - Integration in several variables
  - Parameterized surfaces
  - Surface integrals
  - Flow integrals
  - Green's theorem
  - Stoke's theorem
  - Gauss's theorem
- Partial differential equations
- Introduction
  - Green's identities
  - Poisson's integration equations over a circular disk and a sphere

- fundamentals of Distributions

### **Learning objectives / skills English**

The students are able to compute potential functions of conservative vector fields. They know how to parametrize important surfaces. They are also able to calculate surface- and flow integrals and in so doing apply integral theorems. They know what a boundary value problem is and are capable of solving such problems for simple cases.

### **Literatur**

Burg, Haf, Wille: Mathematik für Ingenieure, I-IV,2002;  
Marsden, Tromba: Vectoranalysis,1996;  
Kevorkian: Partial Differential Equations,2000;  
Renardy/Rogers: A first graduate course in Partial Differential Equations,2004;  
Evans: Partial Differential Equations, 2010.

**Kursname laut Prüfungsordnung****Microwave Theory and Techniques****Course title English**

Microwave Theory and Techniques

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Behandelt werden theoretische Grundlagen und Konzepte, die zum Entwurf und Analyse von Mikrowellen-Schaltungen benötigt werden. Beginnend mit Maxwell's Gleichungen werden Beschreibungen von ebenen Wellen und Ausbreitungs-Effekten an Diskontinuitäten abgeleitet. Leitungsgleichungen und Wellenbeschreibungen auf TEM-Wellenleitungen werden als Wiederholung des Stoffs aus dem Bachelor nur kurz behandelt. Als Erweiterung der bisherigen theoretischen Grundlagen wird dann die Ausbreitung von TEM-Wellen und TE- und TM-Moden auf metallischen Leitungen abgeleitet sowie entsprechende Resonanz-Moden. Daneben werden auch Eigenschaften von Streifenleitungen (microstrip und coplanar) gezeigt. Dies führt zur Charakterisierung von Mikrowellen-Netzwerken unter Benutzung der Streuparameter und Analyse der Eigenschaften von verschiedenen Klassen von N-Toren.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage elektromagnetische Wellen im freien Raum und auf Leitungen zu berechnen und Welleneigenschaften von Mikrowellen-schaltungen zu beschreiben und in Systemzusammenhängen zu berücksichtigen.

**Description / Content English**

The lecture series on MTT covers advanced theories and concepts needed for the analysis and design of microwave circuits. We start with Maxwell's equations to derive descriptions of plane waves and propagation effects at discontinuities. Next we repeat and extend transmission line theory taught at undergraduate level(MRFT). Extending basic theory, we then derive transmission line TEM-modes and metal waveguide TE- and TM-modes as well as resonator modes. Characteristics of printed circuit microstrip line and coplanar waveguide are also presented. This leads to the characterization of microwave networks using scattering parameters and the analysis of several classes of n-port circuits.

**Learning objectives / skills English**

Students can calculate electromagnetic wave propagation in free space and in transmission lines. They are able to describe wave propagation properties of microwave networks and consider these under system aspects.

**Literatur**

- David M. Pozar, Microwave and RF wireless systems, John Wiley and Sons, 2001, chapters 3,4
- David M. Pozar, Microwave Engineering, 2nd edition, John Wiley and Sons, 1998, chapters 1,2,3,4
- Werner Bächtold, Mikrowellentechnik, Vieweg, 1999
- Werner Bächtold, Mikrowellenelektronik, Vieweg, 2002
- Edgar Voges, Hochfrequenztechnik, Bauelemente, Schaltungen, Anwendungen, 2004, 3.Auflage, Hüthig-Verlag

**Kursname laut Prüfungsordnung****Microwave Theory and Techniques Lab****Course title English**

Microwave Theory and Techniques Lab

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
1	WS	Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		1	

**Prüfungsleistung**

Zur Durchführung der Versuche im Labor gehören die Überprüfung des Kenntnisstandes, die eigentliche Durchführung sowie eine abschließende Besprechung. Studenten ohne ausreichende Vorbereitung werden nicht zu dem jeweiligen Versuch zugelassen. Die erfolgreiche Durchführung einer Mindestanzahl von Versuchen ist notwendig zur Erlangung der Kreditpunkte des Moduls.

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Vorlesung MTT wird ergänzt durch Praktikumsversuche, sowohl passend zum vorgetragenen Stoff als auch mit zusätzlichen Themen bzgl. aktiver Schaltungen:

- Streuparameter-Messung an passiven und aktiven Schaltungen
- Impedanzanpassung in Hohlleiter-Schaltungen
- Verstärker-Charakterisierung (Gewinn, Rauschzahl, Verzerrungen)
- Spektrale Vermessung an Mischer-Schaltungen
- Messung von Antennen-Eigenschaften in der Fernfeld-Antennenmesskammer

Die Versuche werden von einer ausführlichen Beschreibung begleitet, die die notwendigen Grundlagen wiederholt, Verständnisfragen stellt und Aufgaben stellt, die als Vorbereitung zuhause gelöst werden müssen.

Zur Durchführung der Versuche im Labor gehören ein Kolloquium mit Antestat zur Überprüfung des Kenntnisstandes, die eigentliche Durchführung in kleinen Gruppen sowie eine abschließende Besprechung; die Auswertung der gewonnenen Messergebnissen ist zum nächsten Termin durchzuführen und vorzulegen/testieren zur Erlangung der Kreditpunkte des Moduls.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage Bauelemente, einfache Schaltungen und Netzwerke der Mikrowellentechnik messtechnisch zu erfassen und theoretisches Wissen über Grundlagen und Verfahren der Mikrowellentechnik auf praktische Fragestellungen der Mikrowellentechnik anzuwenden.

**Description / Content English**

The MTT lecture is complemented with a series of lab experiments which comply with the topics presented in the lecture but also present some additional topics concerning active microwave circuits:

- Measurement of scattering parameters of passive and active circuits
- Measurement of impedance in waveguide circuits
- Characterization of amplifiers (Gain, Noise Figure, Distortion)
- Spectral characterization of mixer circuits
- Measurement of antenna parameters using the far-field anechoic chamber

The experiments are accompanied by a script that collects and repeats theoretical fundamentals and presents questions and problems to be solved before the experiments (homework).

The lab comprises a colloquium at the beginning to check the good preparation of students and grant the testation, the accomplishment of the experiments by individual student in groups and a final report and discussion of results. Detailed evaluations of results have to be prepared for the next experiment and successful performance is the basis for earning the credit points of the module.

### **Learning objectives / skills English**

The students are able to verify experimentally and understand better the theoretical concepts from the lecture about simple circuits and networks for microwave technology and can apply this to practical problems of engineering.

### **Literatur**

Ausführliche Versuchsbeschreibungen erhältlich unter <https://www.uni-due.de/hft/mtt.php>

**Kursname laut Prüfungsordnung****Mikro- und Optoelektronik Praktikum****Course title English**

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		3	

**Prüfungsleistung**

Antestate, Erstellen von Protokollen

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Das Praktikum deckt die verschiedenen Bereichen der Halbleitertechnologie ab, zu denen im Fachbereich Ingenieurwissenschaften der Uni Duisburg-Essen geforscht wird. Es werden Themen aus der Optoelektronik, der Silizium-Halbleitertechnologie, der Technologie für Höchstfrequenzbauelemente aus III-V-Halbleitern und der Nanotechnologie für Quantenbauelemente angeboten. Der Schwerpunkt der Versuche dient der Herstellung und technologienahen Charakterisierung von Bauelementen, die den Zusammenhang zwischen Herstellung und Bauelementparametern deutlich macht. Für die einzelnen Versuche stehen ausführliche Beschreibungen zur Verfügung, innerhalb derer die notwendigen Grundlagen wiederholt werden. Verständnisfragen und Aufgaben werden gestellt, die als Vorbereitung zuhause gelöst werden müssen. Zur Durchführung der Laborversuche gehören ein Kolloquium mit An-Testat, die eigentliche Versuchsdurchführung sowie ein Versuchsprotokoll.

## Versuche OE:

- 1) Photovoltaik
- 2) Aufbau-, Verbindungs- und Systemtechnik

## Versuche NST:

- 3) ...
- 4) ...

## Versuche Bacher/WET

- 5) ...
- 6) ...

## Versuche EBS/Vogt:

- 7) Charakterisierung von MOS-Kondensatoren und -Transistoren
- 8) Messtechnik in der Halbleiterfertigung

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Das Praktikum befähigt die Studierenden, die prinzipiellen Schritte zur Herstellung von Halbleiterbauelementen zu verstehen und diese praktisch anzuwenden. Sie sind außerdem in der Lage, einfache Halbleiterbauelemente herzustellen, diese messtechnisch zu charakterisieren und das Ergebnis der Herstellung zu bewerten.

**Description / Content English**

The laboratory covers various areas of semiconductor technology, which are under investigation in the Department of Engineering Sciences at the University of Duisburg-Essen. It offers topics from optoelectronics, silicon semiconductor technology, the technology for high-frequency devices made from III-V semiconductors and nanotechnology for quantum devices. The focus of the experiments lays on the manufacturing and

technology-based characterization of components, making clear the relationship between production parameters and components. Detailed descriptions are available for the individual experiments, within which the necessary fundamentals are recapitulated. Comprehension questions and tasks are provided, to be solved as preparation at home. The labs include a colloquium to audit, the experimental procedure and the minutes.

**Experiments OE:**

- 1) Photovoltaics
- 2) Packaging and System Measurements

**Experiments NST:**

- 3) ...
- 4) ...

**Experiments WET**

- 5) ...
- 6) ...

**Experiments EBSp:**

- 7) Characterization of MOS capacitors and transistors
- 8) metrology in semiconductor manufacturing

**Learning objectives / skills English**

The laboratory enables the students to understand the principle steps in the fabrication of semiconductor devices and to do this in practice. They are also capable of manufacturing simple semiconductor devices, doing measurements and characterizing the result of the fabrication.

**Literatur**

**Kursname laut Prüfungsordnung****Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik****Course title English**

Advanced Methods for Analytics of Components and Circuits

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

In dieser Veranstaltung werden moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik eingeführt und speziell anhand von Nanostrukturen bzw. nanostrukturierten Bauelementen erklärt. Neben den einzelnen Messsystemgruppen werden auch die peripheren Messsysteme und ihre zugrunde liegenden Arbeitsweisen eingehend erklärt. Nach den theoretischen Grundlagen der Darstellungsbereiche Zeit- und Frequenzbereich und ihres theoretischen Zusammenhangs werden Rauscharten erläutert und mathematisch beschrieben.

Anschließend erfolgt eine eingehende Diskussion der verschiedenen Möglichkeiten der Signaldetektion aus verrauschten Signalen (z. B. Mittelwertbildung, Lock-in Verstärkung). Auf dieser Grundlage werden dann verschiedene, in der Bauelement- und Schaltungsanalytik häufig eingesetzte, Messsysteme beschrieben. Hierzu zählen der Spektrumanalysator, der Netzwerkanalysator, die Kelvin-Force-Mikroskopie und die Rastersonden-Strom und Spannungsmesstechnik aber auch optische Verfahren wie Photoemissionsmikroskopie, PICA und OBIRCH.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind nach aktivem Besuch der Veranstaltung sensibilisiert für die in der Nanotechnik üblichen Signale. Sie sind in der Lage, den für ihre Problemstellung geeigneten Darstellungsbereich zu wählen. Sie kennendie Problematik verrauschter Signale, die Rauschursachen und geeignete Möglichkeiten, optimale Messbedingungen und Messumgebungen auszuwählen. Sie kennendie grundsätzlichen Arbeitsweisen der in der Bauelement- und Schaltungsanalytik gebräuchlichsten Messsysteme und Messverfahren und sie sind in der Lage das für ihre Problemstellung am besten geeignete Messsystem auszuwählen und anzuwenden.

**Description / Content English**

The content of this lecture are modern methodes for device and circuit analysis. The relationship between time domain and frequency domain will be discussed. The fundamentals of different noise types are teached and correlated to measurement problems. For signal recovery different methodes like Lock-In Amplification, Averaging and Box-Car Intergrators will be explained. Kelvin Probe Force Microscopy, Photoluminescence microscopy, Laser Voltage Probing and Thermography round the lecture off.

**Learning objectives / skills English**

After passing the lecture successfully the students are sensitized for typical signals in nanotechnology. They can choose the right domain for the special problem. They are familiar with noise types, measurement of noisy signals and signal recovery. The students are also familiar with the main analysis methodes for device and circuit analysis.

**Literatur**

1) K. Bergmann: Elektrische Messtechnik, Vieweg Verlag 1997

2) Clyde F. Coombs, Jr.: Electronic Instrument Handbook, McGraw-Hill Book Company 2000

- 3) B. E. Jones: Messgeräte, Messverfahren, Messsysteme, Teil 1 und 2, Oldenburg - Verlag 1980
- 4) M. Thumm, W. Wiesbeck, S. Kern: Hochfrequenzmesstechnik: Verfahren und Messsysteme, Teubner - Verlag 1997
- 5) L. Reimer: Rasterelektronenmikroskopie, Springer - Verlag 1977
- 6) M. L. Meade: Lock-in amplifiers: Principles and applications, Peter Peregrinus Ltd. 1989
- 7) J. T. L. Thong (ed.): Electron Beam Testing Technology, Plenum Press 1993
- 8) D. Wolf (ed.): Noise in Physical Systems, Springer Verlag 1978
- 9) W. Gruhle: Elektronisches Messen, Springer Verlag 1987
- 10) D. Sarid, Scanning Force Microscopy, Oxford University Press, 1993
- 11) E. Meyer, H. J. Hug, R. Bennewitz, Scanning Probe Microscopy, Springer-Verlag, 2003

**Kursname laut Prüfungsordnung**

Nanoelektronik

**Course title English**

Nano Electronics

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung behandelt gezielt elektronische Aspekte der Nanotechnologie und grenzt sich ab gegen die Bereiche Nanophotonik und Nanomagnetismus. Sie beginnt mit einer Sichtung geeigneter Materialien und Nanostrukturen und stellt kurz, orientiert an anwendungsrelevanten Nano-Bauelementen, Herstellungsverfahren vor.

Die Boltzmanntransportgleichung, Transportmechanismen, insbesondere Tunnel- und ballistischer Transport, werden behandelt. Als Bauelemente werden u.a. 2DEG-Transistoren, Resonanz-Tunnel-Dioden und -Transistoren, Single-Electron-Transistoren, Coulomb-Blockade- sowie elektromechanische Nano-Elemente auf Halbleiter- und Kohlenstoffbasis bearbeitet; einfache Grundfunktionen im Sinne einer Nano-Schaltungstechnik schließen die Veranstaltung ab.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Es sollen die für Nanostrukturen typischen Funktionsmechanismen vermittelt und an möglichst anwendungsnahen elektronischen Bauelementen dargestellt werden.

**Description / Content English**

The lecture treats electronic aspects of the nanotechnology and differs from the areas nano-photonic and nano-magnetism. It starts with a classification of suitable materials and nano-structures and briefly introduces fabrication techniques.

The Boltzmann transport equation, transport mechanisms, in particular tunnel and ballistic transport, are treated. Transistors with two-dimensional electron gas as channel (2DEG), resonance tunnel diodes and transistors, single Electron transistors, Coulomb blockade as well as electromechanical nano-elements on semiconductor and carbon base are presented and discussed.

Simple basic functions as examples for a nano-circuit technology conclude the lecture.

**Learning objectives / skills English**

The functional mechanisms typical for nano-structures should be captured using the example of electronic devices very close to applications.

**Literatur**

- 1) - S. Datta, *Electron Transport in Mesoscopic Systems*, Cambridge University Press, 1995
- 2) - J.H. Davies, *The Physics of Low-Dimensional Semiconductors*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998

**Kursname laut Prüfungsordnung****Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik****Course title English**

Nano Optoelectronics and Nano Photonics

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			1
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung erläutert die Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik und zielt insbesondere darauf ab, wie durch nanometergroße Strukturen die Bauelement-Eigenschaften eingestellt werden können bzw. neue Bauelementanwendungen möglich werden. Nach der Erarbeitung wesentlicher optischer Eigenschaften von Halbleiter-Nanostrukturen (Quantenfilme, -drähte, -punkte, übergitter) werden in der Vorlesung die folgenden Themen diskutiert:

**a) Optoelektronische Bauelemente**

- Quantenfilmlaser, Quantenkaskadenlaser
- Emitter und Einzelphotonenquellen auf Quantenpunkt-/Nanopartikelbasis
- Detektoren / Modulatoren auf Nanostrukturbasis

**b) Nano-Photonik**

- Grundlagen periodischer Dielektrika, Wellenausbreitung in Dielektrika, Bragg-Gitter
- optische Filter, DFB/DBR Laserdioden, Vertikal-Emitter
- 2-dimensionale und 3-dimensionale photonische Kristalle

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind nach aktivem Besuch der Veranstaltungen sensibilisiert für Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik. Sie verstehen die grundlegenden Eigenschaften nano-optoelektronischer Bauelemente und sind in der Lage für definierte optoelektronische Anwendungen geeignete Nanostrukturen einzusetzen. Sie können Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz von Nanostrukturen in der Optoelektronik auch unter technischen Randbedingungen (Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit, Kosten usw.) einordnen.

**Description / Content English****Learning objectives / skills English****Literatur**

„Nano-Optoelektronik“, Skriptum, Bacher, Gerd, 2005

„Physics of Optoelectronic Devices“, S.L. Chuang, John Wiley & Sons, 1995

„Photonic Crystals“, K. Busch, S. Lölkes, R. Wehrspohn, H. Föll (Eds.), Wiley VCH, 2004

„Nano-Optoelectronics“, Marius Grundmann (Ed.), Springer, 2002

„Physical Models of Semiconductor Quantum Devices“, Y. Fu und M. Wilander, Kluwer Academic Publishers, 1999

„Modern Semiconductor Device Physics“, S.M. Sze, John Wiley & Sons, 1998

„Handbook of nanostructured materials and nanotechnology“, Hrsg. Nalwa Hari Singh, Academic Press, San Diego, ISBN 0-12-513760-5

„Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology „, Goddard III William A.; Brenner, Donald W.; Lyshevski S.E.; Iafrate, G.J., Oct. 2002, 848 pp., ISBN 0-8493-1200-0

**Kursname laut Prüfungsordnung****Operationsverstärker Praktikum****Course title English**

Operational Amplifier Lab

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS/SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		3	
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Das Ziel dieses Praktikums ist das Verständnis der grundlegenden Funktionsweise und Eigenschaften von Operationsverstärkern (OpAmps). Ihre Einsatzmöglichkeiten in elektronischen Schaltungen sollen die Studenten zu eigenen Schaltungsentwürfen und einem besseren Verständnis von komplexen Schaltungen führen. Beginnend mit der Messung und Auswertung der wichtigsten Parameter eines OpAmps werden Schaltungen wie Addierer, Multiplizierer, Verstärker und aktive Filter berechnet und untersucht. Abschließend werden Oszillatoren und Generatoren entwickelt und getestet.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage, Schaltungen mit Operationsverstärkern zu berechnen und die theoretischen Ergebnisse an Hand von Messungen zu kontrollieren.

**Description / Content English**

The aim of practical exercise is the understanding of the basic functionality and qualities of operational amplifiers (OpAmps). Their application potential in electronic circuits should lead the students to own circuit ideas and a better understanding of complicated circuits.

Beginning with the measurement and evaluation of the most important parameters of OpAmps circuits like adder, multiplicators, amplifiers and active filters are calculated and measured. Finally, oscillators and generators are developed and tested.

**Learning objectives / skills English**

The students are able to calculate circuits based on operational amplifiers and to check the theoretical results with help of measurements.

**Literatur**

Praktikumsunterlagen (als Download verfügbar)

**Kursname laut Prüfungsordnung****Optische Netze****Course title English**

Optical Networks

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Zu Beginn wird einleitend die elektromagnetische Wellentheorie und deren Anwendung auf die Ausbreitung von Licht in faseroptischen Wellenleitern behandelt. Hierzu zählt auch die Entstehung von LP-Moden und deren Ausbreitungseigenschaften. Die wichtigsten Komponenten für die optische Nachrichtentechnik wie Laserdioden, Modulatoren, Verstärker und Fotodetektoren werden diskutiert und die Zusammenschaltung dieser zu optischen Links wird analysiert. Die verschiedenen Strukturen photonischer Kommunikationsnetze werden behandelt und im Weiteren deren Einsatz in Weitverkehrs-, Metro-, Zugangs- und Gebäudenetzen diskutiert. Neben den einfachen optischen Modulationsverfahren wie On-Off-Keying (OOK) werden auch komplexere Verfahren (PSK, QPSK, 64QAM) und deren Umsetzung innerhalb der optischen Domäne besprochen. Der Einsatz komplexer Modulationsverfahren z.B. in hochbitratigen Radio-over-Fiber-Systemen (RoF-Systemen) in Verbindung mit einem hochfrequenten Funkkanal (millimeter-wave multi-gigabit point-to-point link) wird behandelt. Den Abschluss bilden die Vorstellung und Diskussion wichtiger Übertragungsstandards in der optischen Kommunikationstechnik.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage, die Ausbreitung von Licht in Glasfasern und die dabei auftretenden Effekte wie Absorption und Dispersion zu analysieren und optische Faserstrecken mit Blick auf die Reduktion dieser störenden Eigenschaften zu optimieren (Multimode-/Singlemode-Faser, Dispersionskompensation, 3R amplification). Sie sind fähig, optische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit Hilfe geeigneter Bauelemente und Fasern zu entwerfen, wobei die unterschiedlichen Anforderungen an optische Netze (für den lokalen Bereich LAN, den Metrobereich MAN und für den Weitverkehrsbereich WAN) Berücksichtigung finden. Sie verstehen verschiedene Multiplexverfahren (TDM, WDM) sowie optische Modulationsverfahren und sind in der Lage, einfache faseroptische Netzstrukturen (z.B. passive optical network, PON) unter Beachtung wichtiger Standards zu entwerfen.

**Description / Content English**

- Introduction: electromagnetic wave theory, light propagation in optical waveguides, LP modes and their propagation properties.
- Components: laser diodes, modulators, amplifiers, photo detectors, their connection to optical links.
- Structures of photonic communication nets for application in LAN, MAN, WAN.
- Modulation methods: on-off keying (OOK), PSK, QPSK, 64QAM, and their implementation within the optical domain.
- Use of complex modulation methods, e.g. in high bit rate radio-over-fiber systems (RoF systems), in combination with a high frequency radio channel (millimeter-wave multi-gigabit point-to-point link).
- Important optical communication standards.

**Learning objectives / skills English**

The Students are able to analyze light propagation in waveguides and the effects of absorption and dispersion and to optimize optical fiber channels concerning reduction of these negative properties (multi-mode, single mode, dispersion compensation, 3R amplification). They are able to design optical point-to-point connections using suitable devices and waveguides, taking into account the different requirements for LAN, MAN, and WAN. They understand different multiplex methods (TDM, WDM) and optical modulation methods and are able to design simple fibre optical net structures (e.g. passive optical network, PON) taking into account important standards.

## Literatur

- [1] Hagen Hultsch (Ed.), Optische Telekommunikationssysteme, Damm-Verlag, Gelsenkirchen, 1996
- [2] Franz-Joachim Kauffels, Optische Netze, MITP-Verlag, 2001
- [3] Biswanath Mukherjee, Optical WDM Networks, Springer-Verlag, 2006

**Kursname laut Prüfungsordnung****Optische Signalverarbeitung****Course title English**

## Optical Signal Processing

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS/SS	Deutsch/Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		

**Prüfungsleistung**

## Schriftliche Prüfung (Klausur)

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Vorlesung Optische Signalverarbeitung beginnt mit der grundlegenden Theorie der nichtlinearen optischen Effekte in dielektrischen Materialien und in Halbleitern: Beispielsweise werden hier Fragen zur optischen Frequenzverdopplung anhand eines grünen Laserpointers diskutiert. Die Ursachen für optische Bistabilität werden beschrieben und es wird gezeigt, wie optisches Schalten zur Realisierung optischer Speicher und Logikelemente angewendet werden kann. Nachfolgend wird das Phänomen der optoelektronischen Bistabilität eingeführt. Es wird gezeigt, dass die Integration eines Modulators und eines Photodetektors zum sogenannten Self-Electrooptic-Effect-Device (SEED) führt. Dieses Element zeigt verschiedene Arten von Schaltvorgängen, die optisch und elektrisch gesteuert werden können. Schließlich werden die Einsatzgebiete der optischen Signalverarbeitung anhand speziellen Anwendungsbeispiele diskutiert. Dies sind unter anderem: optische Schaltnetzwerke, Bildverarbeitungssysteme, optische neuronale Netzwerke, parallel-optische Signalprozessoren.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage, die physikalischen Mechanismen für die Entstehung optischer Bistabilität zu erörtern und diese bei der Analyse optischer logischer Elemente anzuwenden. Sie sind fähig, die erlernten Konzepte auf Systeme zu übertragen und den Einsatz optischer Signalverarbeitung kritisch mit bereits existierenden elektronischen Ansätzen zu vergleichen.

**Description / Content English**

The course "Optical Signal Processing" starts with the basic theory of non-linear optical effects both in dielectric materials and in semiconductors. Optical second harmonic generation in green laserpointers is discussed. The causes for optical bistability are described and principles like optical switching are applied to the realisation of optical memories and logic elements. Within the next section of this course, the phenomenon of opto-electronic bistability is introduced. It is shown that the integration of a light modulator and a photodetector is leading to so-called self-electro-optic effect devices (SEED), showing various forms of switching behaviour which can be controlled both optically and electrically. Finally, the main advantages of optical signal processing are pointed out while discussing applications such as optical switching networks, image processing systems, optical neural networks, parallel optical signal processors and optical interconnects.

**Learning objectives / skills English**

The students are capable of discussing the physical mechanisms for the emergence of optical bistability and applying this to the analysis of optical logic elements. They are able to transfer the learned concepts to systems. They can question and compare the use of optical signal processing with existing electronic approaches.

**Literatur**

- [1] P. Mandel, S.D. Smith, B.S. Wherrett (Eds.), From optical bistability towards optical computing, Elsevier Science Publishers, North Holland, 1987
- [2] H.H. Arsenault, T. Szoplik, B. Macukow (Eds.), Optical Processing and Computing, Academic Press, San Diego, 1989
- [3] W. Erhard, D. Fey, Parallele digitale optische Recheneinheiten, Teubner Studienbücher, Elektrotechnik/Physik, Teubner Verlag, Stuttgart, 1994
- [4] B.S. Wherrett, P. Chavel (Eds.), Optical Computing, Proceedings of the International Conference, Institute of Physics Conference Series Number 139, IOP Publishing, 1995

**Kursname laut Prüfungsordnung****Organische Elektronik und Optoelektronik****Course title English**

Organic Electronics and Optoelectronics

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		

**Prüfungsleistung**

mündliche Prüfung, 45 Minuten

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung führt in die organische Elektronik und Optoelektronik ein. Dabei wird stets eine Balance aus grundlegender Molekülphysik und bauteilrelevanten Konzepten angestrebt. Zu Beginn erfolgen eine Klassifizierung der organischen Materialien und eine Einteilung bezüglich ihrer morphologischen/strukturellen Eigenschaften. Ausgehend von den Bindungsverhältnissen wird die elektronische Struktur organischer Halbleiter erläutert und es werden die für organische Halbleiter üblichen Transportmodelle vorgestellt. Dabei wird besonderes Gewicht auf die Elektron-Phonon-Kopplung (Molekülpolaron) und auf den Einfluss von Unordnung gelegt. Es werden Parallelitäten und Unterschiede zu anorganischen Halbleitern hervorgehoben. Die Veranstaltung geht auch auf Konzepte zur Dotierung organischer Halbleiter ein und es werden einige kommerziell relevante „Intrinsisch Leitfähige Polymere“ (ICPs) und Dopanten vorgestellt.

Es folgt eine Einführung in Kontaktphänomene an den Grenzflächen Metall/org. Halbleiter. Auf der Basis dieser Kenntnisse werden einfache transportbasierte Bauelemente wie die Einschichtdiode und der organische Feldeffekttransistor eingeführt.

Weiterhin geht die Veranstaltung auf die optischen Eigenschaften organischer Materialien ein, wobei besonders auf die Bildung von Singulett- und Triplet-Exzitonen und die phononische Kopplungen (Franck-Condon-Prinzip) Wert gelegt wird. Auf Basis dieser Grundlagen werden als optoelektronische Bauteile organische Leuchtdioden (OLEDs) einschließlich lichtemittierende elektrochemischer Zellen (LECs) und organische Solarzellen vorgestellt. Hier werden die jeweils technisch wichtigen Kennwerte eingeführt und an den historischen Entwicklungsstufen werden grundlegende Bauteilkonzepte erörtert.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Der Student kann organische Materialien bezüglich Morphologie und Bindungsstruktur klassifizieren. Er kennt grundlegende Begriffe aus der Molekülphysik, wie konjugiertes Elektronensystem, Molekülpolaron, Exziton, Franck-Kondon-Prinzip und kann diese korrekt anwenden. Der Student kann grundsätzliche Zusammenhänge zwischen Moleküleigenschaften und Bauteileigenschaften herstellen, wie z.B. die Korrelationen: funktionale Seitengruppen – Verschiebung der Molekülorbitale, Orientierung der Moleküle – Ladungsträgerbeweglichkeit, Ausdehnung des Pi-Systems – spektrale Verschiebung, etc. Der Student kennt schließlich für Transistoren, Leuchtdioden und Solarzellen die wesentlichen kritischen Parameter, die die jeweiligen Bauteileigenschaften limitieren und die bekannten Konzepte um diesen Limitierungen entgegenzuwirken.

**Description / Content English**

The lecture introduces into the organic electronics and optoelectronics. It seeks for a balance between fundamental molecular physics and device relevant concepts. It starts with a classification of organic materials according to their binding nature and morphological properties. The basic electronic structure will be derived from the nature of molecular bindings and subsequently, it introduces common charge transport models. A focus is given to electron-phonon-coupling (small polarons) and the effect of disorder. Similarities and differences to inorganic semiconductors are emphasized. The lecture considers also concepts for doping of

organic semiconductors, while commercial relevant „intrinsic conducting polymers“ (ICPs) as well as dopants are considered.

It follows an introduction into contact phenomena on metal / org. semiconductor interfaces. On basis of this knowledge simple charge-transport-based devices like single layer diodes as well as field effect transistors are considered.

In its second part the lecture introduces into optical properties of organic materials, while special emphasis is given to the formation of singulett- / triplett- excitons, and the electron-phonon coupling (Franck-Condon–Principle). On this basis organic light emitting diodes (OLEDs and LECs) and organic solar cells are introduced. For each of these device classes the technical key-parameter are explained and fundamental device concepts are discussed on hand of important historical stages.

### **Learning objectives / skills English**

The students are able to classify organic materials with respect to their binding structure and morphology. They know basic terms from molecular physics, like conjugated pi-electron system, molecule polaron, exciton, Franck-Condon-Principle and are able to use these terms correctly. The students are able to correlate molecular properties with device properties, like: functional groups – effect on HOMO-LUMO-level, orientation of molecules – effect on mobility, extension of pi-system – spectral shift, and so on. Finally, the students know for transistors, OLEDs and organic solar cells the most critical aspects limiting the device performance and know common concepts to act against these limiting factors.

### **Literatur**

Anna Köhler, Heinz Bässler: Electronic Processes in Organic Semiconductors: An Introduction; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (2015)

Markus Schwörer Hans Christoph Wolf: Organische Molekulare Festkörper; Wiley-VCH Verlag.

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Photovoltaik</b>			
<b>Course title English</b>			
Photovoltaik			
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch/Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

In dieser Vorlesung werden die Grundlagen der Photovoltaik bis hin zum vertieften Verständnis einzelner Zellkonzepte behandelt. Die Grundlagen schließen das wirtschaftliche Potenzial der Technologie, das Sonnenspektrum, Ladungsträger Generations- und Transportmechanismen in organischen wie anorganischen Halbleitern sowie die Funktionsweise des pn-übergangs mit ein. Vertieft werden diese Inhalte hinsichtlich der allgemeinen elektrischen Solarzellenfunktionalität, Verlustmechanismen und Begrenzungen in der Konversionseffizienz. Weiterhin wird im Speziellen auf Solarzellen der 1. Generation: Si und  $\mu$ -Si, der 2. Generation: a-Si, organische und Graetzelzellen sowie auf Solarzellen der 3. Generation: Tandem Zellen eingegangen.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studenten sind in der Lage:

- Das Energiegenerationspotential der Technologie zu erklären
- Den Ursprung des photovoltaischen Effekts allgemein und die Funktionsweise einer Solarzelle an konkreten Materialsystemen zu erklären, unter zu Hilfenahme von quasi-Fermi Niveaus und standard Transportmodellen.
- Generations und Rekombinations-mechanismen zu erklären.
- Begrenzungen in der maximalen Konversionseffizienz zu erklären und hierbei zwischen materialbedingten, prozessbedingten und strukturbedingten Begrenzungen zu unterscheiden
- Solarzellen elektro-optisch zu charakterisieren und die Ergebnisse mit Hilfe von standard Ersatzschaltbildern zu Interpretieren.
- Solarzellen der drei Generationen zu unterscheiden, deren Funktionsweise zu beschreiben und deren Vor- und Nachteile zu erklären.

**Description / Content English**

This lecture deals with the photovoltaic basics, as well as an in depth understanding of selected solar cell concepts. The basics include the market potential of the photovoltaic technology, the solar spectrum, charge carrier generation and transport mechanisms in organic / inorganic semiconductors, as well as the working principle of the classical pn-junction. Emphasis is also placed on the general electrical solar cell functionality, loss mechanisms and limitations with respect to the power conversion efficiency. Specifically solar cells of the 1st generation: Si and  $\mu$ -Si, the 2nd generation: a-Si, organic and Graetzel cells as well as solar cells of the 3rd generation: tandem cells are discussed.

**Learning objectives / skills English**

The students are able:

- to describe the energy generation potential of this technology.
- to describe the origin of the photovoltaic effect, as well as the working principle of solar cells using concrete material systems, quasi Fermi levels as well as standard transport models.
- to describe generation and recombination mechanisms.

- to describe limitations of the max. obtainable power conversion efficiency and be able to differentiate between material, process and design limitations.
- to characterize solar cells electro-optically and are able to interpret their findings using standard equivalent circuits.
- to differentiate between solar cells of the three generations, are able to describe their working principle as well as their advantages and disadvantages.

## Literatur

- The Physics of Solar Cells, Jenny Nelson, Imperial College Press
- Physics of Semiconductor Device, S.M. Sze and K.K. NG, WILEY-Interscience
- Physics of Solar Cells, Peter Würfel, WILEY-VCH
- Organic Molecular Solids, Markus Schwoerer and Hans Christoph Wolf, WILEY-VCH
- Solid State Physics, Harald Ibach and Hans Lüth, Springer

**Kursname laut Prüfungsordnung****Photovoltaik 2****Course title English**

Photovoltaik 2

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
5	WS	Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

In der Vorlesung steht die Messung und Simulation von Halbleiterbauelementen am Beispiel der Solarzelle im Vordergrund. Dazu werden zunächst die Grundlagen geschaffen, um die Physik der Solarzelle zu verstehen und sie beschreiben zu können. Dabei werden die wesentlichen physikalischen Größen identifiziert, die den Wirkungsgrad einer Solarzelle beeinflussen, nämlich Ladungsträgerlebensdauer und Beweglichkeit sowie der Absorptionskoeffizient. Im Folgenden werden dann verschiedene Methoden eingeführt und erklärt mit denen man diese Größen bestimmen kann. Die numerische Simulation der Solarzelle ist dabei oft nützlich, um bestimmte Messverfahren besser zu interpretieren und um den Einfluss von Parametern wie Lebensdauer und Beweglichkeit auf die Kennlinie und den Wirkungsgrad einer Solarzelle zu verstehen. Die Vorlesung schließt ab mit einer Einführung in aktuelle Schwerpunkte der Solarzellenforschung wie z.B. druckbare Solarzellen und Perowskit-Solarzellen.

Die Vorlesung richtet sich sowohl an Studenten, die die Vorlesung Photovoltaik von Dr. Benson bereits gehört haben, als auch an Studenten, die diese Vorlesung nicht oder noch nicht gehört haben.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studenten werden in der Lage sein:

- die Funktionsweise einer Solarzelle zu erklären,
- Bänderdiagramme und quasi-Fermi Niveaus im Dunkeln und unter Beleuchtung zu verstehen und zu benutzen,
- den Unterschied zwischen geordneten (kristallinen) und ungeordneten (nanokristallinen oder amorphen) Halbleitern zu verstehen,
- Messmethoden zu kennen und zu erklären, die zur Untersuchung von Materialien, Schichten, Schichtstapeln und ganzen Bauelementen in der Photovoltaik genutzt werden,
- Solarzellen mit einer Software numerisch zu simulieren.

**Description / Content English**

The focus of this course will be on the measurement and simulation of semiconductor devices using the solar cell as an example. First, we will therefore establish the fundamentals of solar cell device physics before we will identify relevant physical quantities needed for the description of the solar cell. These physical quantities affecting solar cell efficiency are for instance the charge carrier lifetime and mobility as well as the absorption coefficient. In the following, we will then introduce and explain methods to measure these physical quantities. Numerical simulations are often useful to better interpret certain measurement techniques and to better understand the influence of parameters like lifetime and mobility on the current-voltage curve and the efficiency of a solar cell. The course finishes with an introduction into focus areas of current research like printable solar cells and perovskite-based solar cells.

The course is intended for both, students that have already attended the course Photovoltaics by Dr. Benson and for students that have not or not yet attended this course.

**Learning objectives / skills English**

The students will be able:

- to explain the working principle of a solar cell
- to understand and use band diagrams and quasi-Fermi levels in the dark and under illumination
- to explain the difference between ordered (crystalline) and disordered (nanocrystalline and amorphous) semiconductors
- to know and to explain measurement methods used to analyze materials, layers, layer stacks and devices used in photovoltaics
- to numerically simulate solar cells using a software.

### Literatur

- The Physics of Solar Cells, Jenny Nelson, Imperial College Press
- Physics of Solar Cells, Peter Würfel, WILEY-VCH
- Advanced Characterization Techniques for Thin-Film Solar Cells, D. Abou-Ras, T. Kirchartz, U. Rau (Eds.), Wiley-VCH

**Kursname laut Prüfungsordnung****Projektmanagement****Course title English**

Project Management

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
2	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Im Mittelpunkt der Veranstaltung steht die systematische Planung, Steuerung und Kontrolle von Projekten. Anforderungen an den Projektleiter und das Projektpersonal werden durch adäquate Führungsgrundsätze, Kommunikationswissen und Team Building verdeutlicht. Die Rolle des Projekt-Sponsors und die Bedeutung des Managements von Veränderungsprozessen für den Projekterfolg bilden weitere wichtige Bausteine.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden kennen die Grundlagen des Projektmanagements bzgl. der technischen Kompetenzen und der Verhaltenskompetenzen. Sie sind in der Lage, die Bedeutung des Professionellen Projektmanagements in den umfassenderen Kontext des Managements von Organisationen und der erfolgreichen Umsetzung von Unternehmensstrategien einzuordnen und zu bewerten.

**Description / Content English**

The lecture will focus on systematic planning and controls of projects. Genuine leadership principles, communication skills and team building point out the necessary qualifications of the project manager/members. Sponsorship by Top-Management and Organizational Change-Management are critical project success factors and are part of the lecture as well.

**Learning objectives / skills English**

The students know the basics of project management concerning the technical and behavioral competence elements. They can classify the impact of Professional Project Management within the context of management of organizations and successful implementation of corporate strategies and evaluate those.

**Literatur**

1. Heinz Schelle / Roland Ottmann / Astrid Pfeiffer: Projekt Manager, 3. Auflage, GPM, Nürnberg, 2008
2. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (Pmbok Guide) Fifth Ed. (German), IPM, 15. Aug. 2014

**Kursname laut Prüfungsordnung****Projektmanagement****Course title English**

Project Management

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Vorlesung Project Management beschäftigt sich mit der Frage, was ein Projekt ist und wie ein Projekt durchgeführt wird. Hierbei spielen Einflussgrößen wie z.B. Zeit, Kosten oder technische Anforderungen usw. eine wesentliche Rolle. Es werden Methoden / Vorgehensweisen vorgestellt, mit denen Projekte geplant, überwacht und erfolgreich abgeschlossen werden.

Neben der Vorlesung werden Übungen angeboten.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Den Studierenden werden, insbesondere über Beispiele aus der industriellen Praxis, die gebräuchlichsten Methoden des Projektmanagements vermittelt und anhand von Übungen deren Anwendung erprobt. Die Studierenden sind danach in der Lage, für abgegrenzte Entwicklungsaufgaben Projektplanungen durchzuführen.

**Description / Content English**

Project Management is the task of accomplishing a project (what is a project?) e.g. on time, in budget, to technical specification and more. In the lecture you get to know tools how to manage a project (project initiation – implementation – control - ...).

Both lectures and exercises arrange fundamental knowledge about Project Management.

**Learning objectives / skills English**

The students will get to know standard methods of project management by means of present examples from industrial projects including the application of examples in exercises. The students are able to execute limited development tasks in project plannings.

**Literatur**

- Rinza, P. Projektmanagement  
4. Auflage, Springer, ISBN 3-540-64021-5
- Seibert, S. Technisches Management  
5. Auflage, Schäffer-Poeschel, ISBN 3-7910-0694-0

**Kursname laut Prüfungsordnung****Regenerative Energietechnik 1****Course title English**

Renewable Energy Technology 1

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

In der Vorlesung wird die Bandbreite der thermischen und photovoltaischen Nutzung der Sonnenenergie vorgestellt. Nach einer Diskussion der Grundlagen des solaren Strahlungsangebotes (Physikalische Grundlagen der Strahlung, Strahlungsbilanzen, Himmelsstrahlung, Globalstrahlung, Messung solarer Strahlungsenergie) werden Niedertemperaturkollektoren, konzentrierende Kollektoren und die solarthermische Stromerzeugung in Farm- und Towerkraftwerken behandelt. Einen weiteren Schwerpunkt bildet das Thema der photovoltaischen Stromerzeugung mit einer Einführung in das Bändermodell der Elektronen im Festkörper, des Aufbaus, der Funktionsweise und des Wirkungsgrads von Silizium-Solarzellen, Dünnschichtsolarzellen und kompletten Solarzellensystemen.

Der erreichte Stand der Technik sowie technische und wirtschaftliche Potentiale der Solarthermie und Photovoltaik werden ebenfalls erörtert.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Der Studierende versteht die Prinzipien der energetischen Nutzung von Solarenergie, kennt den technischen Aufbau und den Wirkungsgrad verschiedener Solaranlagen und kann das technische und wirtschaftliche Potential der Nutzung der Solarenergie einschätzen.

**Description / Content English**

Focus of the lecture is the thermal and photovoltaic use of solar energy. Topics are the potential of solar radiation and its physical fundamentals, radiation balances, total radiation and measurement of solar irradiation. The conversion of solar radiation into thermal energy by thermal collectors, like flat collectors and concentrating collectors, the generation of high temperature heat by solar farm and tower power plants will be explained. Photovoltaic generation of electricity is the second main topic, the energy band model of semiconductors, the functional principle of silicon solar cells, including construction principles, manufacturing and efficiency will be presented. Important is as well the optimization potential, thin film solar cells, other semiconductors, photovoltaic system technology. Finally, the technical and economical potential of thermal and photovoltaic use of solar energy will be discussed.

**Learning objectives / skills English**

The student understands the principles of energetic use of solar energy, knows technical details about construction and efficiency of conversion devices for solar energy (solar thermal collectors and PV) and is able to judge the technical and economical potential of solar energy use.

**Literatur**

- Adolf Goetzberger, Volker Wittwer, „Sonnenenergie – Thermische Nutzung“, Teubner Studienbücher
- Adolf Goetzberger, Bernhard Voß, Volker Wittwer, „Sonnenenergie: Photovoltaik“, Teubner Studienbücher
- Martin Kaltschmitt, Andreas Wiese, „Erneuerbare Energien“, Springer Verlag

- Manfred Kleemann, Michael Meliß, „Regenerative Energiequellen“, Springer Verlag

**Kursname laut Prüfungsordnung****Regenerative Energietechnik 2****Course title English**

Renewable Energy Technology 2

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Im Rahmen der Vorlesung werden die physikalischen und systemtechnischen Grundlagen der Nutzung der Windenergie (Leistungsdichte des Winds, Windmessung, Windenergiekonverter), der Wasserkraft (Aufbau und Komponenten einer Wasserkraftanlage, Pumpspeicherwerk), Meeressenergie (Leistung von Wasserwellen, Meereströmungskraftwerke), Gezeitenenergie (Entstehung von Ebbe und Flut, Gezeitenkraftwerke) und der Geothermie (oberflächennahe und hydrothermale Erdwärmennutzung, heiße Gesteinsschichten) behandelt. Ein weiteres Schwerpunktthema bildet die Photosynthese und die Möglichkeiten der energetischen Biomassenutzung (Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, Biogaserzeugung, äthanolherstellung). Bei jeder Technologie wird auf den erreichten Stand der Technik eingegangen sowie die technischen und wirtschaftlichen Potentiale diskutiert.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Der Student ist in der Lage, regenerative Energiesysteme auf Basis Wind, Wasserkraft, Geothermie, und Biomasse technisch und ökonomisch zu bewerten. Das zukünftige Potential und der Stand der Technik sind bekannt.

**Description / Content English**

The physical and technical fundamentals of wind energy conversion like power density of wind, measurement of wind speed and wind energy conversion principles will be explained. For water power, the relevant topics are construction principles and components, especially types of turbines, and pumped storage stations as well as energy conversion of tidal and ocean current and waves. The different types of geothermal energy (near surface, hydrothermal, hot dry rock) and biomass are further main foci, including combustion and gasification technology, fermentation for ethanol and biogas generation. For each of these technologies, the achieved state-of-the-art will be presented, the future technical and economical potential will be discussed.

**Learning objectives / skills English**

The students are able to judge regenerative energy systems on basis of wind and water power, biomass and geothermal energy with respect to technology and economics. The future potential and the state-of-the-art are known.

**Literatur**

- Martin Kaltschmitt, Andreas Wiese, „Erneuerbare Energien“, Springer Verlag
- Manfred Kleemann, Michael Meliß, „Regenerative Energiequellen“, Springer Verlag
- Jochen Fricke, Walter Borst, „Energie – Ein Lehrbuch der physikalischen Grundlagen“, R. Oldenbourg Verlag

**Kursname laut Prüfungsordnung**

**Ringvorlesung Elektronik und Photonik**

**Course title English**

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
1	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
			1
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

**Description / Content English**

**Learning objectives / skills English**

**Literatur**

**Kursname laut Prüfungsordnung****Ringvorlesung Thermoelektrik****Course title English**

Lecture Series Thermoelectrics

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
5	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung führt zunächst die drei thermoelektrischen Grundphänomene (Seebeck-Effekt, Peltier-Effekt, Thomson-Effekt) ein und zeigt aus thermodynamischen Überlegungen deren Verknüpfung (Kelvin-Relation). Weiterhin wird die Effizienz einer thermoelektrischen Energieumwandlung ermittelt und daraus die Bedeutung der Gütezahl ZT und der thermischen und elektrischen Anpassung abgeleitet. Messmethoden für die wichtigen thermoelektrischen Größen (Wärmeleitfähigkeit, Seebeck-Koeffizient, elektrische Leitfähigkeit) werden vorgestellt und bezüglich ihrer Unsicherheiten diskutiert. In einem Theorie-Teil werden der Onsager Formalismus und die Boltzmannsche Transporttheorie sowie der Phononentransport eingeführt. Daraus werden Konzepte für das Materialdesign, sowohl bezüglich der thermischen als auch bezüglich der elektronischen Eigenschaften abgeleitet und gängige thermoelektrische Materialklassen erläutert. Syntheseverfahren mit besonderem Bezug zu Nanomaterialien werden vorgestellt. Abschließend werden Grenzflächenphänomene insbesondere für die Phonenstreuung zunächst theoretisch vorgestellt und anschließend ihre messtechnische Überprüfung dargestellt.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studenten sind in der Lage:

- thermoelektrische Phänomene zu erklären
- elektrische und Wärmeleitfähigkeit, Seebeck- und Peltier-Koeffizient zu definieren
- den Gütefaktor ZT und die Effizienz eines thermoelektrischen Generators zu bestimmen
- die Grundzüge der Onsagerschen Transporttheorie sowie die Kelvin-Beziehung zu erläutern
- die Boltzmanngleichung in der Relaxationszeitnäherung herzuleiten
- den elektrischen und Gitterbeitrag zur Wärmeleitfähigkeit im Halbleiter zu diskutieren
- messtechnische Konzepte zur Bestimmung der Transport-Koeffizienten anzuwenden
- materialwissenschaftliche Optimierungsgesichtspunkte anzuwenden
- den Einsatz von Nanopartikeln für thermoelektrische Anwendungen zu erläutern
- Effizienzsteigerung durch Reduzierung der Dimensionalität und Energiefilterung zu diskutieren
- den Einfluss von Grenzflächen auf elektrischen und Wärmewiderstand zu verstehen

**Description / Content English**

The lecture introduces the three thermoelectric phenomena (Seebeck effect, Peltier effect, Thomson effect) and shows their relation (Kelvin relation) based on thermodynamic considerations. Furthermore, the efficiency of a thermoelectric energy conversion is determined and the significance of the Figure of Merit ZT and the thermal and electrical matching condition is derived from it. Measurement methods for the important thermoelectric quantities (thermal conductivity, Seebeck coefficient, electrical conductivity) are presented and discussed with regard to their uncertainties. In a theory part, Onsager formalism and Boltzmann's transport theory as well as phonon transport are introduced. From this, concepts for material design, both with regard to thermal and electronic properties, are derived and common thermoelectric material classes are explained. Synthesis

methods with special reference to nanomaterials are presented. Finally, interfacial phenomena, especially for phon scattering, are presented theoretically and then their metrological verification is presented.

### Learning objectives / skills English

Students are able to:

- Explain the thermoelectric phenomena
- Define electrical conductivity, thermal conductivity, and the Seebeck and Peltier coefficients
- Determine the Figure of Merit ZT and the efficiency of thermoelectric generators
- Explain the basics of Onsager's Transport Theory and Kelvin Relations
- Derive Boltzmann equation with the relaxation time approximation
- Discuss electrical and lattice contribution to thermal conductivity in semiconductors
- Apply measurement concepts to determine transport coefficients
- Understand materials science optimization
- Explain the use of nanoparticles for thermoelectric applications
- Discuss the increase in efficiency by reducing dimensionality and energy filtering
- Understand the influence of interfaces in electrical and thermal resistance

### Literatur

Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano  
von D M Rowe (Herausgeber); Taylor & Francis Inc. (2006).

**Kursname laut Prüfungsordnung****Systemtechnik****Course title English**

System Technologies

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Mikrosystemtechnik ist eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Produkte mit mikrosystemtechnischen Komponenten erobern immer mehr Anwendungsbereiche im täglichen Leben und sind in ihren Potentialen hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Neue Anwendungsfelder werden erschlossen durch Skalierung der Strukturen in den Nanometer-Bereich. Die Vorlesung Mikro- und Nanosystemtechnik erlaubt einen Einblick in dieses spannende interdisziplinäre Gebiet mit seiner Vielfältigkeit und vermittelt dem angehenden Ingenieur das Grundwissen für einen späteren Einstieg in dieses Berufsumfeld.

Folgende Themenbereiche werden von der Vorlesung behandelt:

**I. Mikrotechniken:**

- Bulk-mikromechanik (isotropes und anisotropes nasschemisches Ätzen, Plasma-Tiefenätzen)
- Oberflächenmikromechanik und andere Mikrotechniken (Opferätztechnik, Epi-Polysilizium, SOI, Sticking-Problematik, Vergleich unterschiedlicher Mikro- und Nanostrukturtechniken)

**II. Mikrosensoren:**

- Thermische Sensoren (Thermistoren, PT-Sensor, integrierte Temperatursensoren, Anemometrie, Luftmassensensor)
- Mechanische Sensoren (piezoresistive und kapazitive Drucksensoren, Beschleunigungssensoren, Drehratensensoren)
- Sensoren für Strahlung (CMOS-Bildsensor, CCD, IR-Sensor, Teilchendetektoren)
- Magnetfeldsensoren (Spinning-current Hallplate, Magnetoresistivität)
- Chemische und Biosensoren (Chemisch sensitive FETs, SAW-Sensoren, DNA-Chip)
- Skalierung von Sensorstrukturen in den Nanometerbereich

**III. Mikroaktoren:**

- Mikroaktoren (Wirkprinzipien, Mikrospiegel, Mikrostimulatoren)
- Mikrofluidik (Mikroventile, Mikropumpen, implantierbares Medikamentendepot, Lab-on-a-Chip)

**IV. Systemtechniken:**

- Entwurf, Simulation und Test (Entwurfsmethodik, Simulation, Test- und Prüfverfahren)
- Integrationstechniken (monolithische und hybride Integration, Aufbau- und Verbindungstechnik und Gehäusetechnik für Mikro- und Nanosysteme)

Inhalt der Übungen: Vertiefende praktische Aufgaben und Beispiele zum Stoff der Vorlesung

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden kennen die Prinzipien und Techniken der Mikro- und Nanosystemtechnik und ihre Einsatzmöglichkeiten/Beschränkungen,  
sie verstehen einzelne Mikrokomponenten und ihre Wirkprinzipien,  
sie verstehen die grundlegenden Systemtechniken und die komplexe wechselseitige Beeinflussung der Komponenten,  
sie haben System-Know-how zur Integration der Einzelteile in Design und Herstellung.

### Description / Content English

Micro system engineering is a key technology of the 21th century. Products with microsystem technology seize more and more application areas in daily life and we can't imagine life without them, because of their potential for functionality and economic viability. New application areas are opened up through the scaling of structures in the fields of nanometer. The lecture micro and nano system engineering provides an insight into this exciting interdisciplinary field with its diversity and conveys a basic knowledge to the prospective engineer for the later entry in this occupational field.

Following topics will be handled in this lecture:

#### I. Micro techniques:

- Bulk micromechanics (isotropic and anisotropic wet chemical etching, plasma-deep etching)
- Surface-micromechanics and other micro techniques(Epi-Polysilizium, SOI, Sticking-Problematik, comparison of different micro and nano structure techniques)

#### II. Micro sensors:

- Thermic sensors (thermistors, PT-sensors, integrated temperature sensors, anemometer, mass flow sensor)
- Mechanical sensors (piezoresistive and capacitive pressure sensors, accelerometers, angular rate sensors)
- Sensors for radiance (CMOS-imaging-sensor, CCD, IR-sensor, particle detector)
- Magnetic field sensor (spinning-current hallplate, magnetoresistivity)
- Chemical and bio sensors (chemical sensitive FETs, SAW-sensors, DNA-chip)

Scaling of sensor structures in nanometers

#### III. Mikroaktoren:

- Microaktoren (operating principle, micro mirrors, micro stimulation)
- Microfluidics (Micro vents, Micro pumps, implantable medicine depot, Lab-on-a-Chip)

#### IV. System techniques:

- Design, simulation and test methods (design methodology, simulation, Test- und test method)
- Integration technology (monolithic and hybride integration, Integrated circuit packaging and packaging technique for micro- und nanosystems)

Content in the exercises:

In-depth practical tasks and examples to the content of the lecture

### Learning objectives / skills English

The students know the principles and techniques of micro and nano system engineering and their possible applications / limitations, they understand particular micro components and their active principles, they understand the basic system techniques and the complex mutual impact of components, they have system-know-how for the integration of component parts in design and production.

### Literatur

- M. J. Madou: Fundamentals of Microfabrication, CRC Press, ISBN: 0-8493-0826-7
- M. Gad-el-Hak: The MEMS Handbook, CRC Press, ISBN: 0-8493-0077-0
- W. Menz, J. Mohr: Mikrosystemtechnik für Ingenieure, VCH, ISBN: 3-527-29405-8
- U. Mescheder: Mikrosystemtechnik, B.G. Teuner, ISBN: 3-519-06256-9

- G. Gerlach, W. Dötzel: Grundlagen der Mikrosystemtechnik, Hanser, ISBN: 3-446-18395-7

**Kursname laut Prüfungsordnung****Technisches Management****Course title English**

<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
2	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
3			
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung richtet sich an Ingenieure und Naturwissenschaftler. Gegenstand der Vorlesung ist es, methodische Fähigkeiten und Kenntnisse zu vermitteln, um technische Lösungen und Dienstleistungen im Umfeld der Industrie und der Energieversorgung erfolgreich zu entwickeln und an den Markt zu bringen. Die Vorlesung fußt auf jahrlangen Erfahrungen aus Industrieunternehmen. Thematisch ist die Vorlesung im Wesentlichen in folgende Themenfelder strukturiert:

- Vertrieb: Ermittlung des Bedarfs an technischen Lösungen, Kunden-Lieferanten-Beziehung speziell bei technischen Leistungsumfängen, Vertragsarten mit Bewertung an Hand ausgewählter Projektbedürfnisse
- Projektmanagement: grundsätzliche Zielstellungen, Projektstrukturen, Nachtragsmanagement, Risikomanagement
- Komponentenauslegung: Vermittlung unterschiedlicher Ansätze zur Komponentenauslegung im Projektgeschäft, exemplarische Auslegung auf Basis internationaler technischer Normen
- Qualitätsmanagement: Struktur und Zielstellung einschlägiger Normen, methodische Ansätze zur nachweisbaren Verbesserung der Qualität (u.a. Six Sigma)
- Arbeitssicherheit: Einordnung der Arbeitssicherheit im Unternehmen, Kennzahlen im Bereich der Arbeitssicherheit, methodische Möglichkeiten zur nachhaltigen Verbesserung der Arbeitssicherheit
- Personalführung: typische Führungsanforderungen im technischen Umfeld, Einordnung der Führungsstile, Personalauf- und abbau, Zielvereinbarungen

Die Veranstaltung versteht sich als komplementär zur technischen Wissensvermittlung in den Hauptvorlesungen. Daher wird für die zahlreichen Praxisbeispiele dieser Vorlesung vorzugsweise auf Projekte aus dem ingenieurwissenschaftlichen Umfeld zurückgegriffen. So wird u.a. eine Vertragsverhandlung mit den Teilnehmern der Veranstaltung an Hand einer vorgegebenen Ausgangssituation als Fallbeispiel möglichst realitätsnah simuliert. Auf Grund der Praxisnähe der Vorlesung ist keine zusätzliche separate Übung neben den Fallbeispielen vorgesehen.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sollen erste grundlegende methodische Einblicke in die Zusammenhänge des technischen Managements in Wirtschaftsunternehmen mit ingenieurmäßiger Ausrichtung bekommen. Weiterhin sollen sie ausgewählte Kennzahlen und deren Bedeutung kennenlernen. Nach Absolvierung der Vorlesung sollen sie Organisationsstrukturen im Projektmanagement und Vertrieb ebenso wie unterschiedliche Vertragsformen bei technischen Dienstleistungen kennen.

**Description / Content English****Learning objectives / skills English**

**Literatur**

**Kursname laut Prüfungsordnung****Terahertz Technology****Course title English**

Terahertz Technology

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	WS	Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			1
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Elektromagnetische Strahlung mit einer Frequenz zwischen 0.3THz und 10THz wird häufig als „THz-Strahlung“ bezeichnet. Die THz-Strahlung ist im elektromagnetischen Spektrum zwischen Mikrowellen- und Infrarotstrahlung angesiedelt und Gegenstand aktueller Forschung. Der Spektralbereich wird gelegentlich auch als „THz-Lücke“ bezeichnet, da die Frequenzen nur schwer mit rein elektrischen Verfahren zu erreichen sind (Frequenzen zu hoch) und klassische optische Verfahren ebenfalls an ihre Grenzen stoßen (notwendige Bandlückenenergie zu klein). Trotz dieser Herausforderung konnten bereits viele Anwendungen wie Datenübertragung, zerstörungsfreie Materialuntersuchungen und Grundlagenforschung identifiziert werden. Die Vorlesung wird folgende Bereiche abdecken:

- Fundamentale Wechselwirkung von THz-Strahlung mit Materie
- Erzeugung und Detektion von breitbandigen THz-Pulsen
- Dauerstrich THz-Quellen und Detektoren
- THz-Optiken
- THz-Zeitbereichsspektroskopie
- Ausgewählte Anwendungen von THz-Strahlung

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studenten erlernen Grundlagen zur Erzeugung und Detektion von elektromagnetischer Strahlung im Frequenzbereich zwischen 0,3THz und 10THz. Des Weiteren werden zukünftige Anwendungen diskutiert. Beispiele sind hier zerstörungsfreie Materialprüfung, Datenübertragung und Beispiele aus der Grundlagenforschung. Während des integrierten „Journal Clubs“ diskutieren die Studenten aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Bereich der THz-Technologie.

**Description / Content English**

Electromagnetic radiation with a frequency between 0.3THz and 10THz is often referred as „THz radiation“. THz radiation is located between microwave radiation and far infrared radiation and is rather unexplored. It is often called „THz Gap“ since the frequencies are difficult to realize with optic approaches (necessary energy band gap too small) and electric approaches (frequency too high). However, many applications ranging from communications over non-destructive testing to fundamental research have been identified in this frequency range.

The lecture will cover the following topics:

- Basics of terahertz interaction with matter
- Generation and detection of broadband terahertz pulses
- Continuous wave terahertz sources and detectors
- Terahertz optics
- Terahertz time-domain spectroscopy
- Selected applications of terahertz radiation

### Learning objectives / skills English

The students get insight into the generation and detection of electromagnetic radiation in the frequency range between 0.3 THz and 10THz. Further, future applications will be discussed. Examples are here non-destructive testing, communications, and fundamental research. During the included journal club, the students will learn how to find, read and discuss the latest literature about THz technology.

### Literatur

- Xu, Jingzhou, Zhang, X.-C. "Introduction to THz Wave Photonics", Springer, 2010
- Lee, Yun-Shik "Principles of Terahertz Science and Technology", Springer, 2009
- Bründermann, Erik, Hübers, Heinz-Wilhelm, Kimmitt, Maurice FitzGerald "Terahertz Technologies", Springer, 2012

**Kursname laut Prüfungsordnung****Theoretische Elektrotechnik 1****Course title English**

Electromagnetic Field Theory 1

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
6	WS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

"Theoretische Elektrotechnik" ist eine Veranstaltung, welche das physikalische Verständnis von elektromagnetischen Feldern vertiefen soll. Sie bildet zudem eine Schlüsselqualifikation für andere Bereiche der Elektrotechnik. In der Energietechnik sind es beispielsweise die Gebiete der Hochspannungstechnik, elektrische Maschinen und im Allgemeinen die der Energieversorgung. Die Vorlesung Theoretische Elektrotechnik stellt in ihrer Gesamtheit aber auch eine Erweiterung des Lehrinhaltes in Richtung der klassischen Elektrodynamik dar, welche wiederum eine Brückenfunktion erfüllt, z.B. für das Gebiet der Hochfrequenztechnik, der Halbleiterelektronik und für die modernen Themenstellungen aus der Nanophotonik und Nanooptik.

Die Veranstaltung "Theoretische Elektrotechnik 1" umfasst die folgenden Themenstellungen:

**(1) Elektrostatik:**

=====

- Das elektrische Feld: Feldstärke und Flussdichte
- Die Grundgleichungen der Elektrostatik (Satz von Gauss, Wirbelfreiheit)
- Das elektrostatische Potenzial
- Kapazitätsberechnungen
- Einfluss des Materials
- Grenzbedingungen
- Energie und Kräfte
- Das elektrostatische Randwertproblem
- Analytische, grafische, semi-analytische, direkte und iterative numerische Lösungsverfahren

**(2) Das stationäre elektrische Strömungsfeld:**

=====

- Strom und Stromdichte
- Die Grundgleichungen des stationären Strömungsfeldes (Kontinuitätsgleichung, Gesetz von Ohm)
- Grenzbedingungen
- Leistungsdichte
- Widerstandsberechnungen
- Das Randwertproblem des stationären Strömungsfeldes
- Dualität zur Elektrostatik

Im Verlauf der Vorlesung werden auch die wichtigsten Elemente der Vektorrechnung, der Vektoranalysis, der Koordinatensysteme und der Tensorrechnung erarbeitet.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage,

- Randwertprobleme aus der Elektrostatik selbstständig zu lösen,
- Randwertprobleme des stationären Strömungsfeldes selbstständig zu lösen,
- hierzu analytische oder numerische Berechnungsverfahren einzusetzen,
- das Verhalten der elektrischen Felder für den Entwurf zukünftiger Bauteile richtig einzuschätzen,
- stationäre Strömungsfelder in Leitern zu verstehen und deren Verhalten quantitativ zu bewerten,
- die Vektorrechnung und die Vektoranalysis im gegebenen Kontext formal korrekt einzusetzen.

### Description / Content English

The course „Theoretische Elektrotechnik“ is aimed towards a profound physical understanding of electromagnetic fields. It represents a key qualification in order to bridge the gap to other realms of electrical engineering, such as e.g. high-voltage engineering, electrical engines, and energy transmission. The course as a whole represents an extension towards classical electrodynamics addressing areas like microwave engineering, solid state electronics and advanced issues in the framework of nanosciences, such as e.g. nanophotonics and nano optics.

The lecture "Theoretische Elektrotechnik 1" encompasses the following topics:

#### (1) Electrostatics:

=====

- Electric field and electric flux density
- The fundamental equations (Gauss law, conservative fields)
- The electrostatic potential
- The general theory of capacitance
- Electrostatic field in material media
- Boundary conditions
- Energy and forces
- The electrostatic boundary value problem
- Analytical, graphical, semi-analytical, direct und iterative numerical solution methods

#### (2) Stationary electric fields in conducting media:

=====

- Current and current density
- The fundamental equations (continuity equation, Ohm's law)
- Boundary conditions
- Power density
- Calculation of the resistance
- The stationary boundary value problem
- Duality to electrostatics

The course also covers the fundamentals of vector calculus, vector analysis, coordinate systems, and some elements of tensor calculus.

### Learning objectives / skills English

Based on this course the students are capable:

- to solve an electrostatic boundary problem while using either analytical or numerical methodologies,
- to correctly evaluate the behavior of electrostatic field according to their appearance in technical building blocks and systems,
- to understand the underlying mechanisms of stationary current fields and to provide quantitative measures for their behavior,
- to master vector calculus, vector analysis and to correctly apply these formalisms in the corresponding context of application.

## Literatur

- Pascal Leuchtmann, Einführung in die elektromagnetische Feldtheorie, München: Pearson Studium, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 1: Elektrostatik, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 2: Strömungsfelder, Magnetfelder, Wellenfelder, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2007.
- David J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, (3rd. ed), San Francisco: Pearson, 2008.
- David J. Griffiths, Elektrodynamik - Eine Einführung, (3. Aufl.), München: Pearson Studium, 2011.
- Günther Lehner, Elektromagnetische Feldtheorie – für Ingenieure und Physiker, Berlin: Springer Verlag, 2006.
- Heino Henke, Elektromagnetische Felder – Theorie und Anwendungen, (3. Aufl.), Berlin: Springer Verlag, 2007.
- Julius Adams Stratton, Electromagnetic Theory, Hoboken: John Wiley & Sons / IEEE Press, 2007.
- Melvin Schwartz, Principles of Electrodynamics, New York: Dover Publications Inc., 1988.
- Gottlieb Strassacker, Rotation, Divergenz und Gradient - Leicht verständliche Einführung in die Elektromagnetische Feldtheorie, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006.

**Kursname laut Prüfungsordnung****Theoretische Elektrotechnik 2****Course title English****Electromagnetic Field Theory 2**

<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
6	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	2		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

"Theoretische Elektrotechnik" ist eine Veranstaltung, welche das physikalische Verständnis von elektromagnetischen Feldern vertiefen soll. Sie bildet zudem eine Schlüsselqualifikation für andere Bereiche der Elektrotechnik. In der Energietechnik sind es beispielsweise die Gebiete der Hochspannungstechnik, elektrische Maschinen und im Allgemeinen die der Energieversorgung. Die Vorlesung Theoretische Elektrotechnik stellt in ihrer Gesamtheit aber auch eine Erweiterung des Lehrinhaltes in Richtung der klassischen Elektrodynamik dar, welche wiederum eine Brückenfunktion erfüllt, z.B. für das Gebiet der Hochfrequenztechnik, der Nachrichtenübertragung, der Halbleiterelektronik und für die modernen Themenstellungen aus der Nanophotonik und Nanooptik.

In der Veranstaltung "Theoretische Elektrotechnik 2" werden die folgenden Themenstellungen behandelt:

**(1) Magnetostatik:**

=====

- Das magnetische Feld: Feldstärke und Flussdichte
- Die Grundgleichungen der Magnetostatik (Biot-Savartsches Gesetz, Durchflutungsgesetz)
- Magnetische Potenziale
- Einfluss des Materials
- Grenzbedingungen
- Der magnetische Fluss

**(2) Quasistationäre Felder:**

=====

- Wirkung zeitveränderlicher Felder (Induktionsgesetz)
- Die Induktivität
- Energie und Kräfte
- Der Verschiebungsstrom
- Grundgleichungen elektromagnetischer Felder (Maxwell-Gleichungen)

**(3) Die elektromagnetische Felddiffusion:**

=====

- Zeitharmonische Felder
- Elektro-Quasistatik und Magneto-Quasistatik
- Die Diffusionsgleichung
- Skin-Effekt, Abschirmung, Stromverdrängung und Wirbelströme.

**(4) Schnellveränderliche Felder:**

=====

- Elektromagnetische Wellenfelder
- Energie und Impulserhaltung (Poyntingscher Satz, elektromagnetischer Spannungstensor)
- Elektromagnetische Strahlungsquellen
- Retardierte Potenziale
- Ebene Wellen
- Wellenleitermoden und Strahlungsmoden
- Polarisation und Dispersion

#### **Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind in der Lage,

- elektromagnetische Felder in ihrer Integral- bzw. Differentialform anzugeben,
- magnetische Systeme durch magnetische Ladungen und magnetische Ströme zu modellieren,
- eine elektromagnetische Abschirmung zu konzipieren,
- Felder mit harmonischer Zeitabhängigkeit zu verstehen und anzuwenden,
- Strahlungsfelder mathematisch physikalisch korrekt zu formulieren,
- Das raum-zeitliche Verhalten von Strahlungsfeldern in Bauelementen und Systemen richtig einzuschätzen,
- unterschiedliche Wellenleiterstrukturen nach deren Zwecksetzung zu bewerten.

#### **Description / Content English**

The course „Theoretische Elektrotechnik“ is aimed towards a profound physical understanding of electromagnetic fields. It represents a key qualification in order to bridge the gap to other realms of electrical engineering, such as e.g. high-voltage engineering, electrical engines, and energy transmission. The course as a whole represents an extension towards classical electrodynamics addressing areas like microwave engineering, communication systems, solid state electronics and advanced issues in the framework of nanosciences, such as e.g. nanophotonics and nano optics.

The lecture "Theoretische Elektrotechnik 2" addresses the following topics:

##### **(1) Magnetostatics:**

=====

- Magnetic field and magnetic flux density
- The fundamental equations (Biot-Savart law, Ampere's law)
- Magnetic potentials
- Magnetic fields in material media
- Boundary conditions
- Magnetic flux

##### **(2) Slowly-varying fields:**

=====

- Electromagnetic induction (Faraday's law)
- The inductance
- Energy and forces
- The displacement current
- Fundamental laws of electromagnetic fields (Maxwell's equations)

##### **(3) Electromagnetic field diffusion:**

=====

- Timeharmonic fields
- Electro-quasistatics and Magneto-quasistatics
- Diffusion equation
- Skin effect, shielding, current displacement, and eddy currents.

##### **(4) Electrodynmaic fields:**

=====

- Electromagnetic radiation
- Energy and momentum conservation (Poynting theorem, electromagnetic stress tensor)
- Radiation sources
- Retarded potentials
- Plane waves
- Waveguide modes and radiation modes
- Polarization and dispersion

### Learning objectives / skills English

Based on this course the students are capable,

- to express electromagnetic fields in both their differential and their integral representation,
- to model magnetostatic systems based on magnetic currents and magnetic charges.
- to design electromagnetic shielding applications
- to understand time harmonic fields and to apply this concept in the corresponding technical context,
- to provide mathematical formulations for radiation fields,
- to correctly evaluate spatio-temporal behavior of radiation fields within building blocks and systems.
- to validate different waveguide structures according to the intended application.

### Literatur

- Pascal Leuchtmann, Einführung in die elektromagnetische Feldtheorie, München: Pearson Studium, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 1: Elektrostatik, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 2: Strömungsfelder, Magnetfelder, Wellenfelder, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2007.
- David J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, (3rd. ed), San Francisco: Pearson, 2008.
- David J. Griffiths, Elektrodynamik - Eine Einführung, (3. Aufl.), München: Pearson Studium, 2011.
- Günther Lehner, Elektromagnetische Feldtheorie – für Ingenieure und Physiker, Berlin: Springer Verlag, 2006.
- Heino Henke, Elektromagnetische Felder – Theorie und Anwendungen, (3. Aufl.), Berlin: Springer Verlag, 2007.
- Julius Adams Stratton, Electromagnetic Theory, Hoboken: John Wiley & Sons / IEEE Press, 2007.
- Melvin Schwartz, Principles of Electrodynamics, New York: Dover Publications Inc., 1988.
- Gottlieb Strassacker, Rotation, Divergenz und Gradient - Leicht verständliche Einführung in die Elektromagnetische Feldtheorie, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006.

**Kursname laut Prüfungsordnung****Thermodynamik und Kraftwerkstechnik****Course title English**

Thermodynamics and Power Plants

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
4	SS	Deutsch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung behandelt die verschiedenen Arten der heutigen Elektrizitätserzeugung mit ihren jeweiligen Charakteristika und Restriktionen. Der Vorlesungsstoff umfasst in erster Linie die konventionellen Kraftwerkstypen einschließlich der Kernenergienutzung. Für den dominierenden Bereich der thermischen Kraftwerke werden eingangs die thermodynamischen Grundlagen vermittelt. Berücksichtigung findet auch die Einbindung der unterschiedlichen Kraftwerke in das elektrische Netz sowie die sich daraus ergebenden Konsequenzen hinsichtlich Einsatzmöglichkeiten, Regelung, Eigenbedarf und Netzrückwirkungen. In der begleitenden übung werden Beispiele zur Kraftwerksauslegung und -anwendung rechnerisch behandelt.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden verstehen die verschiedenen Prinzipien der Kraftwerkstechnik, können ihre die Planung und den Betrieb betreffenden Unterschiede und Charakteristika einordnen und die Wechselbeziehung mit dem elektrischen Energieversorgungsnetz auf Basis ihres Fachwissens aufzeigen.

**Description / Content English**

The lecture deals with diverse plant types for electric power generation including their particular characteristics and restrictions. Main focus is on conventional plant types including nuclear. For the predominant group of thermal plants fundamentals of thermodynamics are conveyed first. Furthermore, integration of generation plants in el. power systems including consequences with regard to commitment, control, auxiliary power supply and retroactive effects are treated. The lectures are accompanied by calculation exercises for plant design and application.

**Learning objectives / skills English**

The students understand the diverse principles of power plant technologies; they are able to assess their characteristics and specifics with regard to plant design and operation, and to comprehend the interaction of generation plants and power systems based on their expertise.

**Literatur**

H. Happoldt / D. Oeding / B. Oswald: Elektrische Kraftwerke und Netze, 6. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, 2004

**Kursname laut Prüfungsordnung****Thermo-electric Materials and Systems****Course title English**

Thermo-electric Materials and Systems

Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
5	SS	Englisch	0
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		1
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Inhalt der Vorlesung sind thermoelektrische Materialien und Systeme; diese können für die Gewinnung von Strom aus Wärme oder Temperaturregulierung verwendet werden. Ausgehend von den grundlegenden thermoelektrischen Effekten und thermodynamischen Zusammenhängen werden verschiedene Aspekte thermoelektrischer Forschung vorgestellt und in Zusammenhang gebracht. Diese umfassen u.a.:

- Typische thermoelektrische Materialien und ihre Herstellung
- Fertigung von thermoelektrischen Generatoren und Kühlern
- Kontaktentwicklung für thermoelektrische Bauteile
- Synthese-Mikrostruktur-Funktionseigenschaften Zusammenhänge
- Beschreibung und Modellierung thermoelektrischer Bauteile in verschiedenen Komplexitäten: Einfluss von Kontaktwiderständen, Effekte der Temperaturabhängigkeit von Materialeigenschaften
- Messtechnik für thermoelektrische Materialien und Bauteile
- Auslegung thermoelektrischer Bauteile für verschiedene Anwendungsgebiete (Raumsonden, Automotive, Gesundheitswesen)

Die Vorlesung ist ausgesprochen interdisziplinär und beinhaltet Aspekte der Halbleiterphysik, der Festkörperelektronik, der Thermodynamik, aber auch der Fertigungstechnik und Materialwissenschaft und Messtechnik.

Die grundlegenden Vorlesungsinhalte werden durch Anwendungsbeispiele ergänzt, in denen auch Systemaspekte thematisiert werden.

Eine Teilnahme an der Ringvorlesung Thermoelektrik ist vorteilhaft.

Ziel der übung „Advanced modelling of thermoelectric transport“ ist die praktische Modellierung von thermoelektrischen Materialien und Bauteilen mit Hilfe von MATLAB. Auf Materialebene soll der elektrischen Transports in thermoelektrischen Materialien im Rahmen eines Zweibandmodells beschrieben werden sowie die Extraktion von Materialparametern anhand experimenteller Daten automatisiert durchgeführt werden. In einem weiteren Schritt werden die Effekte von Nano/Mikrostruktur auf elektrischem und thermischem Transport simuliert. Auf Bauteilebene soll das Verhalten von thermoelektrischen Generatoren und thermoelektrischen Kühlern unter einsatznahen Randbedingungen in verschiedenen Komplexitätsgraden simuliert werden.

In dem Seminar sollen aktuelle Forschungsarbeiten zu verschiedenen Aspekten der Thermoelektrik von den StudentInnen analysiert und kritisch hinterfragt werden. Neben der Vertiefung und der Anwendung des Wissens dient das Seminar also auch der kritischen Beschäftigung mit wissenschaftlicher Literatur und dem üben von Vorträgen.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die StudentInnen sind in der Lage:

- Die Vor- und Nachteile von thermoelektrischen Kühlern und Generatoren in verschiedenen Anwendungen zu erläutern

- Die wesentlichen Komponenten thermoelektrischer Bauteile zu benennen sowie deren Funktion zu erläutern
- Elektrische und Wärmeströme in thermoelektrischen Bauteilen in Abhängigkeit von elektrischen und thermischen Randbedingungen zu berechnen und den Einfluss von Kontaktwiderständen zu analysieren
- Wesentliche Material- und Bauteilgrößen zu benennen sowie deren Verknüpfung zu begründen
- Den Wirkungsgrad/die Kühlleistung im Constant-Property-Model zu berechnen und zu optimieren
- Vorteile und Grenzen von Charakterisierungsmethoden für thermoelektrische Materialien und Bauteile zu erklären
- Wesentliche Unterschiede zwischen dem thermischen und elektrischen Transport in bulk und nanostrukturierten Materialien zu begründen
- Die Abhängigkeit der thermoelektrischen Transportgrößen von der Ladungsträgerkonzentration im Einband- und Zweibandmodell zu erklären

### Description / Content English

The lecture deals with thermoelectric materials and systems which can be employed to convert heat directly into electrical energy or to control temperature very precisely. Starting from the basic thermoelectric effects and thermodynamic relations different aspects of the field are introduced and set into relation with each other. These include e.g.:

- Synthesis of state-of-the-art thermoelectric materials
- Fabrication of thermoelectric generators and coolers
- Contact development for thermoelectric devices
- Synthesis-microstructure-property relationships
- Modelling of thermoelectric devices with different complexities: influence of contact resistances and the temperature dependence of material quantities
- Measurement technique for thermoelectric materials and devices
- Design of thermoelectric devices for different applications ranging from space probes over automotive to healthcare)

The lecture is clearly interdisciplinary and includes aspects of solid state physics, semiconductor physics, thermodynamics but also manufacturing technology and measurement technique.

The aim of the training session „Advanced modelling of thermoelectric transport“ is modelling of thermoelectric materials and devices using MATLAB. The electrical and thermal transport in thermoelectric materials shall be modelled using a single and two band models. Complementary basic material parameters shall be extracted by an automated analysis from experimental data. Furthermore, the effect of the microstructure of materials shall be included in the modelling. Modelling of the material properties serves as input for device modelling, where efficiencies/cooling power will be calculated for application-like boundary conditions. The influence of electrical and thermal contact resistances shall be modelled and analyzed in different complexities. Aim of the seminar is the analysis and discussion of relevant scientific publications. Besides application of knowledge from the lecture this seminar establishes a base for working with scientific literature.

### Learning objectives / skills English

The students are able to:

- To explain pros and cons of thermoelectric generators and coolers in different applications
- Name the relevant components in thermoelectric devices as well as explain their function
- Calculate electrical current and heat flow in dependence of electrical and thermal boundary conditions and to analyze the influence of contact resistances
- Name material and device properties and derive their interrelation
- Calculate conversion efficiency and cooling power within the constant property model
- Explain application and limitations of thermoelectric characterization techniques
- Explicate differences in transport between bulk and nanostructured materials

- Explain the dependence of the thermoelectric transport quantities on the carrier concentration in a single or two band model

## Literatur

- Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano von D M Rowe (Herausgeber); Taylor & Francis Inc. (2006)
- Modules, Systems, and Applications in Thermoelectrics, Edited By David Michael Rowe ); Taylor & Francis Inc. (2012)