



# Modulbeschreibung

## M.Sc. NanoEngineering PO19 Nanoprosesstechnologie

Stand: November 2022

# Modul- und Veranstaltungsverzeichnis

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Advances (and Surprises) in Electrodynamics</b>			
<b>Course title English</b>			
Advances (and Surprises) in Electrodynamics			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
3	SS	Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2			
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>

<b>Description / Content English</b>
<p>Do you believe that an electromagnetic pulse can travel faster than light? Is it possible to hide an object from our sight just by using a magic cap? What is the fundamental reason behind (electromagnetic) wave dispersion? We are happy to tell you the answer.</p> <p>This postgraduate course is organized in the sense of an advanced research seminar, where we intend to challenge the established picture of electrodynamics while highlighting novel (seemingly contradicting) outcomes of current research in e.g. electromagnetics, nanophotonics, physical optics, and in the field of electromagnetic/optical metamaterials.</p> <p>Our aim is to cultivate a sort of scientific attitude by organizing vivid discussions with respect to ongoing scientific debates and upcoming research highlights. The seminar usually starts with a presentation given by one of the tutors where the current topic is exposed and made ready for a subsequent discussion. Hence, the course will include presentations, paper discussions as well as numerical demonstrations.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>Based on this lecture the students should be capable:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-- to read and evaluate a scientific paper</li> <li>-- to defend a topic/methodology/approach based on scientific reasoning</li> <li>-- to expose a scientific topic in a short presentation</li> <li>-- to develop a scientific attitude towards new topics</li> <li>-- to carry out a corresponding literature search</li> </ul>

<b>Literatur</b>

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Einführung in die Dynamik von flüssigen und festen Partikeln in Gasen. Es werden dabei die aerosoldynamische Prozesse Nukleation, Koagulation, Kondensation und der Transport von Partikeln sowie deren Deposition auf angeströmte Oberflächen behandelt. Die technische Umsetzung der Partikelabscheidung wird am Beispiel der Rauchgasreinigung und am Beispiel der Filtration in raumlufttechnischen Anlagen erläutert. Ferner werden experimentelle Methoden zur Bereitstellung von definierten Testpartikeln und unterschiedliche Messmethoden zur Bestimmung der Anzahl- und Größenverteilung luftgetragener Partikel besprochen.</p> <p>Behandelte Themen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Partikelgröße, Form und Konzentration</li> <li>- Partikelbewegung</li> <li>- Transport durch Brownsche Bewegung und Diffusion</li> <li>- Transport durch äußere Kräfte</li> <li>- Depositionsmechanismen</li> <li>- Keimbildung, Koagulation und Kondensation</li> <li>- Probenahme und Konzentrationsmessung</li> <li>- Aerosolmessinstrumente</li> <li>- Anwendungen in der Umwelttechnik</li> </ul>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studierenden sind in der Lage, Gasphasenprozesse, bei denen Partikel beteiligt sind mit Modellen zu beschreiben und geeignete experimentelle Methoden zur Erzeugung und Analyse von Aerosolen auswählen und auf technische Anwendungen zu übertragen.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>Introduction to the dynamics of liquid and solid particles in gases. The aerosol dynamic processes nucleation, coagulation, condensation and the transport of particles as well as their deposition on surfaces are discussed. The technical implementation of particle separation is explained using the example of flue gas cleaning and filtration in ventilation systems. Furthermore, experimental methods for the provision of defined test particles and different measuring methods for the determination of the number and size distribution of airborne particles are discussed.</p> <p>Topics covered:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Particle size, shape and concentration</li> <li>- Particle motion</li> <li>- Transport due to Brownian Motion and diffusion</li> <li>- Transport due to external forces</li> <li>- Deposition mechanisms</li> </ul>

- Nucleation, coagulation and condensation
- Sampling and measurement of concentration
- Aerosol measurement devices
- Applications in environmental engineering

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

Students are able to describe gas phase processes involving particles using models and can select appropriate experimental methods for generation and analysis of aerosol and transfer them to technological application.

#### **Literatur**

Hinds, W.C. (1982) Aerosol Technology; John Wiley and Sons; New York  
Friedlander, S.K. (1977) Smoke, Dust and Haze; John Wiley and Sons; New York

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Auslandsforschungsprojekt</b>			
<b>Course title English</b>			
International Research Project			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
7	WS/SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
<b>Prüfungsleistung</b>			
Erfolgreiche Durchführung des Forschungsprojekts im Ausland. Englischsprachiger schriftlicher Bericht und englischsprachige Präsentation über die Ergebnisse.			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Internationale Erfahrungen sind für angehende erfolgreiche Ingenieure und Ingenieurinnen unerlässlich. Um dieser Forderung gerecht zu werden, wird das 3. Mastersemesters von Pflichtveranstaltungen (mit Ausnahme des Projektes) freigehalten. Hier bietet sich also die Möglichkeit eines längeren Forschungsaufenthalts z.B. an einer Partner-Hochschule des Studiengang Nano-Engineering an. Neben den fachlichen Kenntnissen sollen hier auch Fähigkeiten erworben werden, sich im internationalen Forschungsumfeld zurechtzufinden.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Studierenden können einen längeren Auslandsaufenthalt organisieren. Sie sind fähig, sich in eine internationale Arbeitsgruppe, zum Teil in einer fremden Kultur, zu integrieren und dort erfolgreich ein Forschungsprojekt zu bearbeiten.

<b>Description / Content English</b>
International experience is indispensable for prospective successful engineers. In order to meet this requirement, the 3rd semester is kept free of compulsory courses (except for the project). This offers the possibility of a longer research stay abroad, e.g. at a partner university of the study program NanoEngineering. In addition to technical knowledge, the aim is to acquire the ability to find one's way around in an international research environment.
<b>Learning objectives / skills English</b>
Students can organize a longer stay abroad. They are able to integrate themselves into an international working group, sometimes in a foreign culture, and to work successfully on a research project there.

<b>Literatur</b>
Projektspezifisch. Wird vom jeweiligen Betreuer vor Ort genannt.

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

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

**Description / Content English**

**Learning objectives / skills English**

**Literatur**

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Brennstoffzellensysteme in der dezentralen Energieversorgung</b>			
<b>Course title English</b>			
Fuel Cell in Decentralized Energy Supply			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2		1	
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Die Stromerzeugung und -speicherung in elektrochemischen Systemen wie Batterien und Brennstoffzellen ist Schwerpunkt der Vorlesung. Die verschiedenen in der Entwicklung befindlichen Brennstoffzellensysteme von der bei niedriger Temperatur arbeitenden Membranbrennstoffzelle bis zur Festoxidbrennstoffzelle mit ihren 1000°C Arbeitstemperatur werden vorgestellt. Zur Brennstoffzellentechnologie gehört die Wasserstoffherzeugung aus verschiedenen Energieträgern, sowohl für stationäre Systeme für die Kraft/Wärmeabgabe als auch an Bord von Fahrzeugen oder sogar für kleinste portable Anwendungen. Ein Vergleich von Brennstoffzellen mit anderen innovativen Energieerzeugern wie Mikrogasturbinen, Stirling-Motoren und Thermoelektrischen Wandlern runden das Bild ab. In einem Praktikum werden die behandelten Inhalte anschaulich vertieft.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie werden von den Studenten verstanden, so dass sie die Technik und die Rahmenbedingungen nachvollziehen und auch auf neue Fragestellungen übertragen können und die verschiedenen Zukunftsoptionen der Effizienzsteigerung in der Energieversorgung beurteilen können. Vor- und Nachteile im Vergleich zu konventionellen Energiesystemen sind erarbeitet.

<b>Description / Content English</b>
Electricity generation and storage by electrochemical devices like batteries and fuel cells is the main focus of this lecture. The different types of fuel cells being in development ranging from membrane fuel cells with typical operation temperatures of 80°C to solid oxide fuel cells for 1000°C are presented. Closely connected with fuel cell technology is the hydrogen technology. Thus, hydrogen generation via the various possible pathways for the different applications of fuel cell systems are described. The range of applications are combined heat and power supply in stationary systems, electric traction and power supply for remote and portable applications. Fuel cell systems are compared to other innovative energy converters, like micro gas turbines or Stirling engines. The contents are deepened in a practical exercise.
<b>Learning objectives / skills English</b>
The students understand fuel cell and hydrogen technology and are able to judge advantages and disadvantages of these new energy options in comparison to established technologies. The student are able to transfer this knowledge to new questions related to energy systems. The potential increase in energy efficiency and economical and political conditions are understood.

<b>Literatur</b>
Für Elektrochemie und Batterien: Hamann/Vielstich, „Elektrochemie“ Wiley, Weinheim 1998

Für Wasserstofftechnologie:

„Electrochemical Hydrogen Technologies“ Ed.:H. Wendt,  
Elsevier Amsterdam 1990

Für Brennstoffzellen:

Kordes/Simader „Fuel Cells and their applications“  
VCH Weinheim 1996

Heinzel/Mahlendorf/Roes „Brennstoffzellen“

C.F. Müller Heidelberg 2005

Larminie/Dicks „Fuel Cell Systems explained“

Wiley, Chichester 2000

Handbook of Fuel Cells, Wiley 2003

Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming „Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung“,

Erich Schmitt-Verlag, Berlin 2004

Brennstoffzellen und Mikro-KWK, ASUE Band 20, Vulkan-Verlag 2001

Für Energiedaten:

internet <http://www.bmwi.de> , <http://www.bp.com> und <http://www.iea.org>

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

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die computerorientierte Lösung der Maxwell-Gleichungen spielt eine immer wichtigere Rolle. Die sukzessiven Verbesserungen, sowohl in der Computertechnologie als auch bei den numerischen Algorithmen selbst, tragen dazu bei, dass heutzutage sehr viele Elektromagnetik-Probleme aus der Praxis gelöst werden können.

Die „virtuelle Optimierung“ mit Hilfe eines Computers ist sehr viel kostengünstiger und effizienter als das traditionelle Vorgehen mittels Bau und Prüfung von Prototypen-Reihen.

Die möglichen Einsatzbereiche finden sich in diversen Sparten der Elektrotechnik: Etwa bei Wirbelstromproblemen in elektrischen Maschinen, Hochfrequenz-Schaltungen und -Antennen, optischen Komponenten, Radarsystemen, Streuungsproblemen und der elektromagnetischen Kompatibilität, um nur einige Anwendungsbeispiele zu nennen.

Der Kurs Computational Electromagnetics 1 (CEM-1) hat zwei wesentliche Ziele:

1. Die Vermittlung von Grundkenntnissen über die drei wichtigsten Methoden zur numerischen Lösung von elektromagnetischen Feldproblemen, namentlich die Finite-Differenzen Methode (FDM, auch FDTD = Finite-Difference Time-Domain), die Finite-Elemente Methode (FEM) und die Momenten-Methode (MoM, auch BEM = Boundary Element Method).
2. Die „sichere“ und effiziente Benutzung von (kommerziellen) Simulations-Werkzeugen auf Basis der o.g. numerischen Methoden, namentlich die Software EMPIRE XPU (<http://www.empire.de>) von der IMST GmbH, das open-source FDTD Programm openEMS (<http://openems.de>), die beiden FEM-solver COMSOL Multiphysics (<https://www.comsol.de/>) und ANSYS HFSS (<http://www.ansys.com>), sowie das MoM-basierte tool FEKO (<https://www.feko.info>) von Altair Engineering. Die entsprechenden Kenntnisse werden durch das selbstständige Durcharbeiten von sog. Tutorials (übungen am PC) unter fachkundiger Anleitung vertieft.

Die Kurs-TeilnehmerInnen sind abschließend in der Lage, die geeignetste Software (das geeignetste numerische Verfahren) für „ihr“ Elektromagnetik-Problem auszuwählen und diese effizient und „sicher“ anzuwenden.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Studierenden sind abschließend in der Lage die geeignetste Software (das geeignetste numerische Verfahren) für „ihr“ Elektromagnetik-Problem auszuwählen und diese effizient und „sicher“ zu benutzen.

**Description / Content English**

The computer-based solution of Maxwell's equations plays an increasingly important role. Due to the successive improvements in the computer technology and the numerical algorithms themselves a lot of practical electromagnetic problems can be solved nowadays.

The "virtual optimization" using a computer is much more cost effective and efficient than the traditional approach based on building and testing of prototypes-series.

The possible application areas can be found in various sectors of electrical engineering, e.g., eddy current problems in electrical machines, high-frequency circuits and antennas, optical components, radar systems, scattering problems and electromagnetic compatibility, to name just a few.

The course Computational Electromagnetics 1 (CEM-1) has two main objectives:

1. To teach the basic knowledge about the three main methods for the numerical solution of electromagnetic field problems, including the finite difference method (FDM, also FDTD = Finite-Difference Time-Domain), the Finite Element Method (FEM) and the Method of Moments (MoM, also BEM = Boundary Element Method).
2. The "safe" and efficient use of (commercial) simulation tools based on the above-mentioned numerical methods, especially the software EMPIRE XPU (<http://www.empire.de>) by IMST GmbH, the open-source FDTD Program openEMS (<http://openems.de>), the two FEM solver COMSOL Multiphysics (<https://www.comsol.de/>) and ANSYS HFSS (<http://www.ansys.com>), and the MoM -based tool FEKO (<https://www.feko.info>) of Altair Engineering. The corresponding knowledge is deepened by working through so-called software tutorials (exercises on the PC) under expert guidance.

The course participants are finally able to select the most appropriate software (the most suitable numerical methods) for "their" electromagnetic field problem and use the corresponding tool efficiently and "safely".

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

Students are finally in a position to select the most appropriate software (the most suitable numerical method) for "their" electromagnetic problem and to use the tool in an efficient and "safe" manner.

#### **Literatur**

Weiterführende Literatur:

[FDTD] Allen Taflove, Susan C. Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Norwood: Artech House, 2005.

[FEM] Jianming Jin, The Finite Element Method in Electromagnetics. New York: John Wiley & Sons, 2002.

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Computational Electromagnetics 2</b>			
<b>Course title English</b>			
Computational Electromagnetics 2			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	SS	Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			
Lösung eines zugewiesenen Elektromagnetik-Problems mittels MATLAB-Implementierung und Präsentation der zugehörigen Ergebnisse. Die Präsentation und die anschließende Diskussion werden wie eine Mündliche Prüfung gehandhabt.			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Die computerorientierte Lösung der Maxwell-Gleichungen spielt eine immer wichtigere Rolle. Die sukzessiven Verbesserungen, sowohl in der Computertechnologie als auch bei den numerischen Algorithmen selbst, tragen dazu bei, dass heutzutage sehr viele Elektromagnetik-Probleme aus der Praxis gelöst werden können.</p> <p>Die „virtuelle Optimierung“ mit Hilfe eines Computers ist sehr viel kostengünstiger und effizienter als das traditionelle Vorgehen mittels Bau und Prüfung von Prototypen-Reihen.</p> <p>Computational Electromagnetics wird inzwischen für den Entwurf von vielen elektromagnetischen Geräten und Systemen verwendet, die sich in allen Sparten der Elektrotechnik wiederfinden, zum Beispiel in der Mobil-Telefonie, der Satelliten-Kommunikationstechnik, bei elektrischen Maschinen (Motoren, Generatoren und Transformatoren), medizinischen Bildgebungssystemen, Mikrowellen-Schaltungen und -Antennen, optischen Komponenten, Radarsystemen, Streuungsprobleme und der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV).</p> <p>Der Kurs Computational Electromagnetics 2 (CEM-2) hat zwei wesentliche Ziele:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Vermittlung von notwendigen theoretischen Kenntnissen über die wichtigsten Methoden zur numerischen Lösung von elektromagnetischen Feldproblemen, namentlich die Finite-Differenzen Methode (FDM, auch Finite Differenzen im Zeitbereich, engl. Finite-Difference Time-Domain, FDTD) und die Finite-Elemente Methode (FEM).</li> <li>2. Die praktische Implementierung der thematisierten Methoden und Algorithmen am Rechner. Dies soll mittels MATLAB erfolgen, da die weitverbreitete Programmierumgebung bereits viele nützliche Funktionen bereitstellt, insbesondere für die Lösung linearer Gleichungssysteme, aber auch im Zusammenhang mit der Visualisierung der numerisch berechneten Felder.</li> </ol> <p>Der CEM-2 Kurs basiert auf dem einführenden Text zum Thema Computational Electromagnetics von Thomas Rylander, Par Ingelström und Anders Bondeson. Das zugehörige ebook steht (hier) für UDE-Studierende zum Download bereit.</p> <p>Zum Ende des Semesters sollen die Kurs-TeilnehmerInnen das Erlernte anwenden und ein „eigenes“ Elektromagnetik-Problem mittels MATLAB-Implementierung lösen. Diese Programmierfähigkeit soll in kleinen Gruppen erfolgen und wird thematisch individuell angepasst.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Teilnehmer wissen und verstehen,

- warum numerische Methoden für das elektromagnetische Design von Bauteilen/Systemen aus der Praxis unbedingt benötigt werden,
- wie sie die mathematische Formulierung der Lösung eines Feldproblems in ein systematisches Computerprogramm umsetzen,
- welche numerische Methode am besten für ein spezielles Problem geeignet ist,
- wie sie einen PC (Hardware) und kommerzielle oder auch open-source Software effizient für das elektromagnetische Design einsetzen können,
- welche Limitierungen die vorgestellten numerischen Methoden haben.

Sie verstehen die folgenden Methoden im Detail und können zugehörige Software-Produkte (in Klammern) anwenden:

1. Finite Differenzen im Zeitbereich, kurz FDTD (EMPIRE XCcel von der IMST GmbH)
2. Finite Elemente Methode, kurz FEM (COMSOL Multiphysics)
3. Multiple Multipol Methode, kurz MMP (nur Vortrag)

### Description / Content English

The computer-based solution of Maxwell's equations plays an increasingly important role. Due to the successive improvements in the computer technology and the numerical algorithms themselves a lot of practical electromagnetic problems can be solved nowadays.

The "virtual optimization" using a computer is much more cost effective and efficient than the traditional approach based on building and testing of prototypes-series.

Computational Electromagnetics is now used for the design of many electromagnetic devices and systems, which are widespread into all areas of electrical engineering, for example, in the mobile telephony, satellite communications, electric machines (motors, generators and transformers), medical imaging systems, microwave circuits and antennas, optical components, radar systems, scattering problems and electromagnetic compatibility (EMC).

The course Computational Electromagnetics 2 (CEM-2) has two main objectives:

1. The teaching of necessary theoretical knowledge of the most important methods for the numerical solution of electromagnetic field problems, including the finite difference method (FDM, also Finite-Difference Time-Domain, FDTD) and the Finite Element Method (FEM).
2. The practical implementation of the discussed methods and algorithms on a computer. This should be carried out using MATLAB, since this widespread programming environment already provides many useful functions, especially for solving systems of linear equations, but also due to the visualization capability.

The CEM-2 course is based on the introductory text on the subject of Computational Electromagnetics by Thomas Rylander, Par Ingelström and Anders Bondeson. The corresponding ebook is available for UDE students (here).

At the end of the semester the course participants should apply what they have learned and solve their „own“ electromagnetics problem using MATLAB. This programming should be done in small groups. The topics will be „matched“ to the students' interest.

### Learning objectives / skills English

The students know and understand,

- why computer-aided methods are needed and why they are important?
- what is their place among other approaches, like theoretical (analytical) analysis and laboratory experiments?

They understand various computational methods and know how to apply the corresponding simulation software (in brackets), like:

1. Method of Finite Differences in Time Domain, short FDTD (EMPIRE XCcel developed by IMST GmbH),
2. Finite Element Method, short FEM (COMSOL Multiphysics),
3. Multiple Multipole Method, short MMP (talk only).

#### **Literatur**

Thomas Rylander, Par Ingelström, Anders Bondeson, Computational Electrodynamics (2. Edition). New York: Springer, 2013. (DOI: 10.1007/978-1-4614-5351-2)

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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. Hysteresebefahete 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.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>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.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>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.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>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.</p>

<b>Literatur</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) W. Kowalsky: Dielektrische Werkstoffe der Elektrotechnik und Photonik, B. G. Teubner Stuttgart 1994</li> <li>2) G. Fasching: Werkstoffe der Elektrotechnik, Springer-Verlag 1994</li> <li>3) E. Ivers-Tiffée, W. von Münch: Werkstoffe der Elektrotechnik, B. G. Teubner 2004</li> <li>4) W. v. Münch: Elektrische und magnetische Eigenschaften der Materie, B. G. Teubner 1987</li> <li>5) K. Kopitzki: Einführung in die Festkörperphysik, B. G. Teubner 1993</li> <li>6) J. F. Nye: Physical properties of crystals, Oxford Science Publications 1985</li> <li>7) Ch. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik, Oldenburg Verlag 2002</li> <li>8) S. Chikazumi: Physics of Magnetism, Robert E. Krieger Publishing Company, 1978</li> <li>9) R. Waser [Ed.], Nanoelectronics and Information Technology, Advanced Electronic Materials and Novel Devices, Wiley-VCH Verlag GmbH &amp; Co. KGaA, 2003</li> </ol>

--

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Formulierungs-, Druck- und Beschichtungstechnologien für partikuläre Produkte</b>			
<b>Course title English</b>			
Formulation, printing and coaring technologies for particulate products			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2			1
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Nahezu immer finden partikuläre Produkte nicht als Pulver ihre endgültige Anwendung, sondern müssen zu (multi)funktionalen dünnen Filmen oder Schichten verarbeitet werden. Dies gilt insbesondere für energetische Funktionsmaterialien wie sie in Brennstoffzellen, Batterien, aber auch LEDs und Solarzellen, d.h. Anwendungen der Energie- und Verfahrenstechnik sowie der Nanotechnologie, zum Einsatz kommen. Innerhalb der Vorlesung soll daher die gesamte Prozesskette von der Formulierung druckbarer Tinten bis zum Beschichtungsprozess betrachtet werden.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Studierende verstehen nach dem Besuch der Vorlesung die komplexen Zusammenhänge zwischen dem Suspendieren von Pulvern und deren Formulierung zu maßgeschneiderten Tinten. Die angestrebten Eigenschaften letzterer können mit den spezifischen Randbedingungen unterschiedlicher Druck- und Beschichtungsverfahren in Verbindung gebracht werden. Ebenso sind gängige Methoden zur Charakterisierung von Trocknungsprozessen und partikulären Schichten bekannt und können hinsichtlich der Vor- und Nachteile diskutiert werden.

<b>Description / Content English</b>
Particulate products almost always do not find their final application as powders, but have to be processed into (multi)functional thin films or layers. This applies in particular to energetic functional materials such as those used in fuel cells and batteries, but also LEDs and solar cells, i.e. applications in energy and process engineering as well as nanotechnology. The lecture will therefore cover the entire process chain from the formulation of printable inks to the coating process.
<b>Learning objectives / skills English</b>
After attending the lecture, students will understand the complex relationships between suspending powders and formulating them into tailor-made inks. The desired properties of the latter can be associated with the specific boundary conditions of different printing and coating processes. Common methods for characterizing drying processes and particulate layers are also known and can be discussed with regard to their advantages and disadvantages.

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kistler, S.F., Schweizer, P.M. (Eds.), 1997. Liquid film coating: scientific principles and their technological implications. Chapman &amp; Hall.</li> <li>- Cohen, E.D., Gutoff, E.B., 1992. Modern Coating and Drying Technology. John Wiley &amp; Sons.</li> <li>- Meichsner, G., Mezger, T., Schröder, J., 2016, Lackeigenschaften messen und steuern</li> <li>- Schweizer, P., Liquid Film Coating</li> </ul>

--

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Fortgeschrittene Festkörperphysik</b>			
<b>Course title English</b>			
Advanced Solid State Physics			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
3	SS	Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

**Description / Content English**

**Learning objectives / skills English**

**Literatur**

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Grundlagen der Oberflächenphysik</b>			
<b>Course title English</b>			
Fundamentals of Physics of Surfaces			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Erzeugung von sauberen Umgebungsbedingungen und sauberen Oberflächen, geometrische und elektronische Struktur von Oberflächen, Mechanismen der Strukturbildung: Rekonstruktion und Relaxation, Oberflächenzustände und elementare Anregungen, Austrittsarbeit und Emissionsvorgänge, Wechselwirkung mit Atomen und Molekülen, chemische Reaktionen, Adsorption und Wachstum, experimentelle Methoden, Präparation von Oberflächen.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Ziele der Veranstaltung ist es grundlegende Kenntnisse der Oberflächenphysik zu vermitteln; es sollen sowohl die theoretische Beschreibung von Vorgängen an Oberflächen wie auch experimentellen Methoden erlernt werden.

<b>Description / Content English</b>
<b>Learning objectives / skills English</b>

<b>Literatur</b>
Lüth, "Surfaces and Interfaces of Solids", Springer Verlag, Desjonqueres, Spanjaard, "Concepts of Surface Physics", Springer Verlag, Zangwill, "Physics at Surfaces", Cambridge Univ. Press, Henzler, Göpel, "Oberflächenphysik des Festkörpers", Teubner Verlag

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Halbleitertechnologie</b>			
<b>Course title English</b>			
Semiconductor Technology			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
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. höchstauflösende 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 Bauelementparametern 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 anwendungsnahe 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-Halbleitertechnologie, 4. Auflage, Teubner Studienbücher, 2004
- Peter Van Zant: Microchip Fabrication. A Practical Guide to Semiconductor Processing, 4th edition, McGraw-Hill Professional Publishing, 2000

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Höchstfrequenz- und Terahertz-Halbleitertechnologien</b>			
<b>Course title English</b>			
High frequency and terahertz semiconductor technologies			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
3	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Die Veranstaltung vertieft die technologischen Verfahren zur Herstellung von nanostrukturierten Materialien und Komponenten und die zugehörigen Analysemethoden an aktuellen Beispielen aus der Bauelementherstellung. Dies beinhaltet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Moderne Wachstumstechniken für monoatomlagengenaue Schichtdeposition wie Metallorganische-Gasphasenepitaxie (MOVPE) und Molekularstrahlepitaxie (MBE), bezüglich Zusammensetzung, Kontrolle der Schichtdicke und Dotierung.</li> <li>- Nutzung von Selbstorganisationsmechanismen und Templateprozessen.</li> <li>- Fortgeschrittene hochauflösende Lithographieverfahren zur Erzeugung nanoskaliger Strukturen (Elektronen-Röntgenstrahl- sowie Rastersonden-Lithographie).</li> <li>- Mikro- und nano-elektronische Fertigungstechniken für elektronische und optoelektronische Nanokomponenten, u.a. für Höchstfrequenzanwendungen.</li> <li>- Laterale und vertikale Verarbeitung von Epitaxie-Filmen, Isolierschichten und Metallisierungen bis hin zu monolithisch integrierten nanoelektronischen Schaltungen.</li> <li>- Zerstörungsfreie Analyse der Nanostrukturen und Bauelemente durch hochauflösende Röntgenstrahl-Beugung und durch die Nutzung der Wechselwirkung von Elektronensonden mit den Materialien.</li> <li>- Analyseverfahren mit mechanischen Sonden (Raster-Tunnel- und die Raster-Kraft-Mikroskopie)</li> </ul>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>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.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>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.</p> <p>This contains:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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.</li> <li>- Use of self organization mechanisms and template processes.</li> <li>- Advanced high-resolution lithography procedures for the production of nano-scaled structures (electron beam, X-ray as well as scanning force lithography).</li> <li>- Micro- and nano-electronic fabrication techniques for electronic and opto-electronic nano-components, e.g. for high frequency applications.</li> </ul>

- 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

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>How to protect your innovations</b>			
<b>Course title English</b>			
How to protect your innovations			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
2	WS	Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
			2
<b>Prüfungsleistung</b>			
Einschließlich einiger Fragen, wie man gewerbliches Schutzrecht beantragt, aufrecht erhält und durchsetzt.			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundsätzliche Informationen über Schutzrechte, einschließlich einem Überblick über Patente, Gebrauchsmuster, Design Rechte, Handelsmarken etc.</li> <li>- Was kann geschützt werden?</li> <li>- Woher bekomme ich Informationen über Schutzrechte? Was kann ich mit diesen Informationen anfangen?</li> <li>- Informationsmanagement</li> <li>- Wie beantrage ich ein Schutzrecht?</li> <li>- Veranschaulichende Beispiele für Schutzrechte wie Patente, etc.</li> <li>- Andere Schutzrechte – strategische Betrachtung</li> <li>- Internationales IP Law – Schutzrechte im Ausland</li> <li>- Verwertung von Schutzrechten</li> </ul>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studenten sollen ein grundsätzliches Verständnis der Gewerblichen Schutzrechte haben und wissen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Welches Schutzrecht ist für welchen Aspekt der eigenen Idee geeignet?</li> <li>- Welche Unterstützung kann ich bei wem erhalten?</li> <li>- Worauf habe ich vor und nach der Anmeldung eines Schutzrechtes zu achten?</li> <li>- Wie kann ich mein Schutzrecht durchsetzen?</li> </ul>

<b>Description / Content English</b>
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic information about protective rights including an overview over patents, utility models, design rights, trademarks etc.</li> <li>- What can be protected?</li> <li>- Where can I obtain information as to such protective rights? What can I do with such information?</li> <li>- Information Management</li> <li>- How to apply for a protective right?</li> <li>- Illustrative examples for protective rights such as patents, etc.</li> <li>- Other protective rights – strategic considerations</li> <li>- International IP Law – IP rights abroad</li> <li>- Exploiting IP-rights</li> </ul>

### **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](http://WIPO.org)
- Dieter Rebel, Industrial property rights, Carl Heymanns Verlag 2007
- Handbook of Industrial Property Rights, loose-leaf-collection, Carl Heymanns Verlag

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Innovationsmanagement</b>			
<b>Course title English</b>			
Management of Innovations			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
2	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2			
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Im Mittelpunkt der Veranstaltung stehen die Erfolgsfaktoren des Innovationsmanagement, 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.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
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 Unternehmensstrategien einzuordnen und zu bewerten.

<b>Description / Content English</b>
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.
<b>Learning objectives / skills English</b>
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.

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Thomas Stern / Helmut Jaberger: Erfolgreiches Innovationsmanagement. Erfolgsfaktoren – Grundmuster – Fallbeispiele. 4. überarbeitete Auflage, Verlag Gabler 2010</li> <li>- Jürgen Hauschildt, Sören Salomo: Innovationsmanagement. 4. Auflage. Verlag Vahlen, München 2007</li> <li>- Bundesverband der Deutschen Industrie e. V.: Innovationsindikator</li> <li>- Strategy&amp;   PwC: THE GLOBAL INNOVATION 1000 - Jährliche Veröffentlichungen</li> <li>- 5. Vijay Govindarajan / Chris Trimble: Reverse Innovation. Harvard Business School Press, 10. April 2012</li> <li>- Clayton M. Christensen: The Innovator's Dilemma, Harper Business, Okt. 2011</li> </ul>

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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 vorgestellt. Die Vorlesung schließt mit einer kurzen Übersicht über einfache optoelektronische Schaltungen und deren Bedeutung in der optoelektronischen Signalverarbeitung und -erzeugung.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>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.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>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.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>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.</p>

## 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

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>IOS-Wahlkatalog</b>			
<b>Course title English</b>			
IOS Electives Catalogue			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
0	WS/SS	Deutsch/Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
<b>Prüfungsleistung</b>			
Modulteilprüfung (benotet)			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
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.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
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.

<b>Description / Content English</b>
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.
<b>Learning objectives / skills English</b>
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.

<b>Literatur</b>
Spezifisch für das gewählte Thema

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Kolloidprozesstechnik</b>			
<b>Course title English</b>			
Colloid Process Technology			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Kolloide sind Systeme, bei denen Teilchen mit charakteristischen Größen von 1nm bis 1µm in einem anderen Stoff - meistens einer Flüssigkeit - feinverteilt (dispergiert) sind. Die Teilchen sind also größer als Moleküle, aber kleiner als makroskopische Körper. Sie besitzen eine sehr große Grenzfläche zu ihrer Umgebung, d.h. dem Dispersionsmittel.</p> <p>Die Veranstaltung führt zunächst in die Kolloidchemie und Kolloidphysik ein, die die Grundlagen für die Kolloidprozesstechnik darstellen. Kolloidprozesstechnik beschäftigt sich mit der Verfahrenstechnik von Kolloiden und ihrer Verarbeitung zu Materialien. Ihre Beherrschung bildet die Voraussetzung für die Herstellung vieler Systeme, in denen Nanopartikel eingesetzt werden, wie z.B. Pasten, Papier, Farben und Lacken, keramischen Festkörpern und spielen bei wichtigen Prozessen zur Herstellung von Nanopartikeln eine wesentliche Rolle.</p> <p>Themen der Vorlesung sind:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>01. Einführung</li> <li>02. Grenzflächenthermodynamik</li> <li>03. Oberflächenchemie</li> <li>04. Van der Waals-Wechselwirkung</li> <li>05. Debye-Hückel-Modell</li> <li>06. DLVO Theorie</li> <li>06. Stabilisierung</li> <li>07. Deagglomeration</li> <li>08. Formgebung</li> <li>09. Trocknung kolloidaler Schichten</li> <li>10. Beschichtungsverfahren</li> <li>11. Druckverfahren</li> <li>12. Messmethoden</li> </ol> <p>Im Seminar führen die Studenten unter Anleitung eine wissenschaftliche Literatur-Recherche zum Thema 'Kolloidale Kristalle' durch und tragen zu unterschiedlichen Aspekten dieses Themas vor, z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Opale und inverse Opale</li> <li>- Kolloidale Kristalle</li> <li>- Photonische Kristalle</li> <li>- Kleinwinkelstreuung</li> </ul>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Lernziel ist das Verständnis der physikalisch-chemischen Grundlagen von Kolloiden (Partikelwechselwirkung und Grenzflächenchemie) und ihre Anwendung in der Prozesstechnik. Die Studierenden sind in der Lage Verfahren

zur Funktionalisierung, Dispergierung und Stabilisierung von Nanopartikeln in Fluiden vorzuschlagen und physikalische und chemische Prozesse in Kolloiden quantitativ zu erklären.

### Description / Content English

Colloids are systems, in which particles with characteristic sizes of 1 nm up to 1  $\mu\text{m}$  are finely distributed (dispersed) in another material - mostly a liquid. The particles are larger than the molecules but smaller than a macroscopic body. They exhibit a large interfacial area to their environment, i.e. the dispersion medium.

The lecture first introduces fundamental concepts of colloidal chemistry and physics which are the basis for colloidal process technology which is the chemical engineering of colloids and their processing into materials. Mastering colloidal process technology enables us to produce many systems in which nanoparticles are employed such as pastes, paper, paints, varnishes, ceramic bodies and play an important role in the production of nanoparticles itself.

Topics of the lecture are:

01. Introduction
02. Thermodynamics of Interfaces
03. Surface Chemistry
04. Van der Waals-Interaction
05. Debye-Hückel-Model
06. DLVO Theory
06. Stabilisation
07. Deagglomeration
08. Forming processes
09. Drying of colloidal films
10. Coating processes
11. Printing processes
12. Measurement methodology

In the seminar students perform a scientific literature search on the topic 'colloidal crystals' under guidance and give a lecture on different aspects such as

- Opals and inverse opals
- Colloidal crystals
- Photonic crystals
- Small angle scattering

### Learning objectives / skills English

The students should understand the physico-chemical fundamentals of colloids (particle interaction and interfacial chemistry) and their application in processing. The students are able to suggest processes for functionalization, dispersion and stabilization of nanoparticles and can explain physical and chemical processes in colloids quantitatively.

### Literatur

Zur Einführung

- G. Brezesinski und H.-J. Mögel, Grenzflächen und Kolloide, Spektrum Akad. Vlg. 1993
- R. J. Hunter, Introduction to Modern Colloid Science, Oxford Science Publisher 1994

Zur Vertiefung

- R. J. Hunter, Foundations of Colloid Science, Oxford University Press, 2000
- D. F. Evans and H. Wennerström, The Colloidal Domain - Where Physics, Chemistry, Biology and Technology meet, Wiley-VCH 1999

- P. C. Hiemenz and R. Rajagopalan, Principles of Colloid and Surface Chemistry, CRC 1997
- C. J. Brinker and G. W. Scherer, Sol-Gel-Science, Academic Press 1990
- H.-D. Dörfler, Grenzflächen und kolloid-disperse Systeme, Springer 2002
- J. Israelachvili, Intermolecular & Surface Forces, Elsevier 2005
- J. H. Fendler (ed.), Nanoparticles and Nanostructured Films, Wiley-VCH 1998
- M. N. Rahaman, Ceramic Processing and Sintering, Marcel Dekker 2003
- J. S. Rheed, Principles of Ceramics Processing, Wiley 1995

Original-Literatur, z.B. aus den Zeitschriften

- Advanced Materials
- Langmuir
- Journal of Colloids and Interfaces
- Journal of the American Ceramic Society

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Lasermaterialbearbeitung: Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung</b>			
<b>Course title English</b>			
Laser material processing: macro-, micro-, and nanostructuring			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
5	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2		1	1
<b>Prüfungsleistung</b>			
Klausur oder Mündliche Prüfung			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>An typischen Beispielen wird eine Einführung in Laseranwendungen zur Materialbearbeitung in Ingenieurs- und Naturwissenschaften in der Serienfertigung gegeben. Die Strahl-Stoff-Wechselwirkung wird diskutiert. Verschiedene Strahlquellen und Betriebsarten des Lasers zur Lasermaterialbearbeitung werden vorgestellt. Im Anschluss wird die Makro-, Mikro und Nanostrukturierung mit Lasern an verschiedenen Beispielen eingehend dargestellt: Schneiden, Schweißen, Bohren und Markieren, Laserauftragsschweißen und -sintern, Oberflächenstrukturierung und Nanostrukturierung, Lasergenerierung von Nanopartikeln, Funktionale Nanopartikel und -materialien. Zum Abschluss werden ökonomisch-technische Aspekte behandelt sowie die Charakterisierung und Qualitätssicherung in der Laserfertigung besprochen.</p> <p>Im Vortragskolloquium erarbeiten die Studierenden aus einem Themenpool einen ca. 10 min. Vortrag zu einer aktuellen Fragestellung der Lasermaterialbearbeitung. Die Vorträge werden in einer gemeinsamen Übung (Studierende + Lehrende) präsentiert und diskutiert.</p> <p>Im Methodenkurs werden den Studierenden verschiedene Methoden der Lasermaterialbearbeitung anhand aktueller Forschungsthemen vorgestellt und in praktischen Versuchen in den Laboren der Lehrenden erarbeitet.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weiterführende Kenntnisse der Lasertechnik, Lasertypen und deren Nutzung in der Industrie</li> <li>- Detailwissen zur Laserstrahlcharakterisierung und relevanten Kennzahlen</li> <li>- Überblick über die Methoden der Lasermaterialbearbeitung mit entsprechendem Detailwissen in den Bereichen Laserschneiden, -bohren, schweißen, gravieren sowie additive Fertigung und Nanopartikelsynthese</li> <li>- Methodische Fertigkeiten und Verständnis der Einsatzfelder verschiedener Lasertypen in der Lasermaterialbearbeitungsfeldern und deren ökonomische Bedeutung</li> </ul>

<b>Description / Content English</b>
<p>Typical examples are used to provide an introduction to laser applications for materials processing in engineering and natural sciences in series production. Beam-substance interaction is discussed. Various beam sources and modes of laser operation for laser materials processing will be presented. Subsequently, macro-, micro- and nano-structuring with lasers is presented in detail with various examples: Cutting, welding, drilling and marking, laser cladding and sintering, surface structuring and nanostructuring, laser generation of nanoparticles, functional nanoparticles and materials. Finally, economic-technical aspects will be covered and characterization and quality assurance in laser manufacturing will be discussed.</p>

In the lecture colloquium, students will prepare an approx. 10 min. lecture on a current issue in laser materials processing from a pool of topics. The lectures are presented and discussed in a joint exercise (students + lecturers).

In the methods course, students are introduced to various methods of laser material processing based on current research topics and work on them in practical experiments in the lecturers' laboratories.

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

- Advanced knowledge of laser technology, laser types and their use in industry
- Detailed knowledge of laser beam characterization and relevant key figures
- Overview of laser material processing methods with corresponding detailed knowledge in the fields of laser cutting, drilling, welding, engraving as well as additive manufacturing and nanoparticle synthesis
- Methodical skills and understanding of the fields of application of different laser types in laser material processing fields and their economic importance

#### **Literatur**

Eichler, H. J., & Eichler, J. (2015). *Laser: Bauformen, Strahlführung, Anwendungen*. Springer-Verlag.

Poprawe, R. (2005). *Lasertechnik für die Fertigung*. Springer Berlin Heidelberg.

Steen, W. M., & Mazumder, J. (2010). *Laser material processing*. springer science & business media.

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>
<b>Laseroptische Messverfahren für reaktive Strömungsprozesse</b>

<b>Course title English</b>

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

<b>Prüfungsleistung</b>
-------------------------

Die Studierenden bearbeiten Übungsaufgaben zum Inhalt der Vorlesung. Das erfolgreiche Abschneiden (Erreichen einer Mindestpunktzahl) berechtigt im Rahmen eines Vortrags zur Vorstellung einer aus der Literatur entnommenen wissenschaftlichen Arbeit zum Thema der Anwendung laserdiagnostischer Methoden in reaktiven Systemen.

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
--------------------------------------

Die Vorlesung vermittelt zunächst einige Grundlagen der geometrischen Optik, der mikroskopischen Beschreibung von Atomen und Molekülen, sowie deren Absorptions- und Emissionsspektren. Dazu werden auch grundlegende Betrachtungen zur Quantenmechanik der Atome und Moleküle vermittelt, wie sie für ein Verständnis der später diskutierten optischen Messmethoden notwendig sind. Weiterhin werden der Aufbau und die Funktionsweise von Lasern und optischen Detektoren behandelt. Anschließend vermittelt die Vorlesung einen Einblick in verschiedene, vorwiegend Laser-basierter, Methoden zur berührungslosen optischen Diagnostik der Gas- oder Partikelphase in reaktiven Systemen und (in geringerem Umfang) Flüssigkeiten. Schwerpunkte sind die Diskussion anwendungsnaher Beispiele für die in-situ Messung von Temperatur, Spezies-spezifischer Stoffkonzentrationen, Partikeleigenschaften und Strömungsgeschwindigkeiten in reaktiven strömenden Medien. Hierbei wird die Signalerzeugung durch Streuprozesse (Rayleigh, Raman), Absorption, Laser-induzierte Fluoreszenz, Laser-induzierte Inkandescenz, und nichtlinearer optischer Verfahren vorgestellt. Beispiele aus praktischen Anwendungsfeldern der Laserdiagnostik in Verbrennungsprozessen werden gegeben.

<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
---

Die Vorlesung „Laseroptische Messverfahren in reaktiven Systemen“ versucht auf dem Stoff der Vorlesung „Quantitative bildgebende Messtechniken in Strömungen“ von Prof. Sebastian Kaiser aufzubauen. Der dort behandelte Stoff wird in Auszügen kurz wiederholt; es ist also nicht zwingend notwendig diese Vorlesung vorher gehört zu haben; sie bietet allerdings ein vertieftes Verständnis einiger Grundlagen der hier angebotenen Vorlesung.

Die Studierenden bekommen grundlegende Kenntnisse zur geometrischen und Wellenoptik vermittelt. Sie verstehen die Grundlagen (weitgehend basierend auf spektroskopischen Betrachtungen) und Anwendungen moderner laseroptischer Messverfahren für die Orts- und Zeitaufgelöste berührungsfreie Messung in reaktiven Strömungsprozessen. Sie verstehen die komplexen Zusammenhänge, die zur Auswahl von geeigneten Lichtquellen, Strahlanordnungen und Detektionskonzepten erforderlich sind.

<b>Description / Content English</b>
--------------------------------------

The lecture initially presents some basics on geometric optics and the microscopic treatment of atoms and molecules and their interaction with light, i.e., absorption and emission spectra. The latter means that – on a basic level of understanding – some fundamentals of quantum mechanics will be treated, that will lead to a better understanding of the laser diagnostic methods treated in later sections of the course. Furthermore, some basic knowledge on the physics and operation of various laser systems and detectors will be presented. Starting from there, the lecture provides an overview on various, mainly laser-based diagnostic methods for perturbation-free optical diagnostics in reactive systems aimed at the measurement of temperature,

concentration and particle properties in the gas and (to a much smaller extend) liquid phase. The emphasis is on practical examples for the in-situ measurement of temperature, species (and particle) concentration, particle size and flow velocity in reactive flows. The lecture discusses the relevant signal generation processes in Rayleigh, Raman, Absorption, Laser-induced Fluorescence, Laser-induced Incandescence, and nonlinear optical diagnostics. Examples in practical applications of laser diagnostics in mixing and combustion processes are discussed.

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

The lecture „Laseroptische Messverfahren in reaktiven Systemen“ in some parts relies on the contents of the lecture „Quantitative bildgebende Messtechniken in Strömungen“, held by Prof. Sebastian Kaiser. Relevant parts of this lecture are recapitulated here. Therefore, it is not particularly relevant if this other lecture has not been attended; however, it may a somewhat deeper understanding of some technical details presented here. Students will obtain some basic knowledge in geometric and wave optics. They will also understand the basics spectroscopic background and applications of modern laser-spectroscopic diagnostics for the spatially and temporally resolved, perturbation-free measurement in reactive flow processes. They also will learn about the variety of light sources, detectors and beam configurations necessary for performing for setting up suitable diagnostic experiments.

#### **Literatur**

Von der Thematik der Vorlesung bzw. des gewählten Vortrages abhängig.  
Depends on lecture topics and the chosen seminar talk.

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

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Master-Arbeit (einschließlich Kolloquium)</b>			
<b>Course title English</b>			
Master-Thesis (including colloquium)			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
30	WS/SS	Deutsch/Englisch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
<b>Prüfungsleistung</b>			
Prüfungsleistung: Durchführung, Dokumentation und Präsentation der Arbeit. Die Bewertung erfolgt durch zwei Prüfer.			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
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.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
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:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Selbstlernfähigkeit,</li> <li>- Teamfähigkeit (Zusammenarbeit mit den Betreuern),</li> <li>- Anwendung von Methoden des Projektmanagements,</li> <li>- Kommunikationsfähigkeit: technische Dokumentation und Präsentation, im Fall englischer Präsentation auch Übung von Sprachkenntnissen.</li> </ul>

<b>Description / Content English</b>
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.
<b>Learning objectives / skills English</b>
The master-thesis represents an examination. Besides the professional engrossing by using an example the acquisition of soft skills are also gained:
<ul style="list-style-type: none"> <li>- self-learning ability</li> <li>- capacity of teamwork (working together with the supervisor)</li> <li>- application of methods of project management</li> <li>- communications skills: technical documentation and presentation, in case of an English presentation also practice of language skills</li> </ul>

**Literatur**

Spezifisch für das gewählte Thema

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Materialchemie der heterogenen Katalyse</b>			
<b>Course title English</b>			
Materials Chemistry in Heterogeneous Catalysis			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
5	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

**Description / Content English**

**Learning objectives / skills English**

**Literatur**

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zustände, Struktur und Morphologie fester Körper</li> <li>- Oberflächen und Grenzflächen</li> <li>- Materialeigenschaften (mechanische Eigenschaften, elektrische Eigenschaften, Wärmeleitfähigkeit, magnetische Eigenschaften, optische Eigenschaften, thermische Ausdehnung, Korrosion)</li> <li>- Verfahren zur Materialprüfung</li> <li>- Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren</li> <li>- Exemplarische technische Werkstoffe (Beziehungen zwischen Struktur, Herstellung/Verarbeitung und Funktion) mit Schwerpunkt Polymere</li> </ul>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Studierenden erwerben aufbauend auf ihrem Wissen zur Chemie systematische Kenntnisse zu Struktur- / Funktionsbeziehungen bei festen Materialien (Metalle, Keramiken, Polymere, Verbundwerkstoffe).

<b>Description / Content English</b>
<b>Learning objectives / skills English</b>

<b>Literatur</b>
W. Schatt, H. Worch, Werkstoffwissenschaft, 9. Aufl., Wiley-VCH, 2003 H.G. Elias, Makromoleküle – Bände 1- 4, 6. Aufl., Wiley-VCH, 1999ff.

Kursname laut Prüfungsordnung			
Mathematik E4			
Course title English			
Mathematics E4			
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	Pflicht/Wahl
5	WS	Deutsch	1
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Prüfungsleistung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
<p>Folgende Themen werden behandelt:</p> <p>Vektoranalysis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentialfunktionen und Kurvenintegrale</li> <li>- Integration in mehreren Veränderlichen</li> <li>- parametrisierte Flächen</li> <li>- Flächenintegrale</li> <li>- Flussintegrale</li> <li>- Der Satz von Green</li> <li>- Der Satz von Stokes</li> <li>- Der Satz von Gauß</li> </ul> <p>Partielle Differentialgleichungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einführung</li> <li>- Die Greenschen Formeln</li> <li>- Poissonsche Integralformeln für die Kreisscheibe und die Kugel</li> <li>- Distributionen (Grundlagen)</li> </ul>
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
<p>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.</p>

Description / Content English
<p>The course deals with the following subjects:</p> <p>Vector analysis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Potential functions and line integrals</li> <li>- Integration in several variables</li> <li>- Parameterized surfaces</li> <li>- Surface integrals</li> <li>- Flow integrals</li> <li>- Green's theorem</li> <li>- Stoke's theorem</li> <li>- Gauss's theorem</li> </ul> <p>Partial differential equations</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduction</li> <li>- Green's identities</li> <li>- Poisson's integration equations over a circular disk and a sphere</li> </ul>

- 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.

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Membrane Technologies</b>			
<b>Course title English</b>			
Membrane Technologies			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
3	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2			
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

**Description / Content English**

**Learning objectives / skills English**

**Literatur**

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Messtechnik nanodisperser Systeme</b>			
<b>Course title English</b>			
Measurement Technology of Nanodisperse Systems			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	SS	Deutsch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			
Die Art und Dauer der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben. Laut Prüfungsordnung ist eine Klausur mit einer Dauer zwischen 60 und 120 Minuten oder eine Mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten möglich.			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Die wichtigsten Methoden zur Bestimmung der Nanodispersität werden vorgestellt. Inhalt: 1. Größe und Form von Nanopartikeln. äquivalenzdurchmesser. Größenverteilungsfunktion (differenziel und integral, Normal und Lognormalverteilung), Art der Größebestimmung (Off-,in-,on-line, in-,ex-situ).  2.Off-line und ex-situ Techniken. 2.1 Statische Probleme in der Probenahme (sampling bias, Statistik) 2.2 Probenahmetechniken 2.3 Analyse und Bildverarbeitung von TEM und SEM Daten. 2.4 BET (Gasadsorption, Brunauer-Emmett-Teller Theorie) 2.5 XRD  3 On-line Techniken 3.1 Diffusionsbatterie und tracking analysis 3.2 Differentieller mobilitätsanalyse 3.3 Hochvakuum Techniken Quadrupol, time-of-flight und PMS 3.4 Laserinduzierte Inkandescenz
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Studierenden sind in der Lage, die physikalischen Hintergründe und die Funktionsweise der wichtigsten Techniken zur Bestimmung der Nanodispersität zu erklären.

<b>Description / Content English</b>
The most important methods to determine the nanodispersity of particle systems are being presented. Contents: 1. Size and shape of nanoparticles. Equivalent diameters. Presentation of the particle size distribution function (differential and integral, normal and lognormal distributions, sectional presentation, weighting, conversion). Type of size measurements (Off-,in-,on-line, in-,ex-situ).  2.Off-line and ex-situ techniques. 2.1 Statistical problems in sampling (sampling bias, statistical problems). 2.2 Sampling techniques 2.3 Analysis and image analysis of TEM and SEM data. 2.4 BET (gas adsorption, Brunauer-Emmett-Teller theory)

## 2.5 XRD

### 3 On-line techniques

3.1 Diffusion battery and tracking analysis

3.2 Differential mobility analysis

3.3 Highvacuum techniques: Quadrupol, time-of-flight and PMS

3.4 Laser induced incandescence

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

The student are able to explain the physical background and principles of the most important methods to determine the nanodispersity.

### **Literatur**

1. F.E. Kruis, Size analysis of nanodisperse systems, manuscript, 2011.
  2. P.A. Baron, K. Willeke, Aerosol Measurement Principles, Techniques, and Applications (2001)
  3. K.L. Mittal, Particles on surfaces (VSP, Utrecht, 2003)
  4. F.E.Kruis, Vorlesungsmanuskript physikalische Partikelsynthese (ZFUW, Kaiserslautern, 2005)
  5. P. Milani and S. Iannotta, Cluster Beam Synthesis of Nanostructured Materials, Springer Series in Cluster Physics (Springer-Verlag, Berlin, 1999)
- und aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Messtechnik nanodisperser Systeme Projekt</b>			
<b>Course title English</b>			
Project Measurement Technology of Nanodisperse Systems			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
		3	
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>In diesem Projekt erhält jeder Studierende nach dem einführenden Seminar des Dozenten am Semesteranfang eine definierte fachliche Aufgabe im Bereich Messtechnik nanodisperser Systeme. Diese Aufgabe beinhaltet eine Messtechnik für ein nanodisperses System und wird aus einer Liste ausgewählt oder vom Student/in selber vorgeschlagen.</p> <p>Die Aufgabe wird individuell unter fachlicher Anleitung des Dozenten durchgeführt und ist wie ein Projekt abzuwickeln, einschließlich Spezifikation der festzustellenden messtechnischen Eigenschaften, Literaturrecherchen, Marktforschung, Erläuterung des Messprinzips, ggf. Messungen beim Messgerätehersteller, Berichterstellung und Präsentation der Ergebnisse.</p> <p>Es ist in regelmäßigen Abständen anhand einer kurzen Präsentation beim Dozenten über den Erkenntnisstand zu berichten. Der Abschlussbericht ist vor dem Seminar beim Dozenten einzureichen. Im gemeinschaftlichen Abschlussseminar werden die wichtigsten Erkenntnisse in einem Vortrag vorgestellt. Es erfolgt eine Benotung der individuellen Leistungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer.</p> <p>Der/die Studierende(r) soll in seinem Abschlussbericht berichten über:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mögliche kontinuierlichen und dispersen Phasen (z.B. gas/flüssig)</li> <li>- welche größenrelatierten Eigenschaften erfasst werden können (welcher äquivalenter Durchmesser, Form, Konzentrationsbereich, usw)</li> <li>- die methodenspezifischen Eigenschaften der ausgewählten Messtechnik (wie Messbereich, Auflösung, Empfindlichkeit, benötigte Probevorbereitung, in/at/online-Fähigkeit), Messzeit, Entwicklungsstand, usw.)</li> <li>- eine wissenschaftlich fundierte Erklärung der Messprinzipien mit Angabe der wesentlichen Innovationen, sowohl aus der zugänglichen Literatur als auch bereits umgesetzt in kommerziell erhältlichen Geräten. Hierbei soll wenn möglich auch mittels persönlicher Gespräche mit Entwicklern oder/oder Benutzern Information gesammelt werden</li> <li>- spezifische messtechnische Eigenschaften der am Markt verfügbare Messgeräte</li> </ul>

<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studierenden lernen systematisch eine Aufgabe / eine Fragestellung aus dem Bereich der Nanomesstechnik auszuarbeiten, die Ziele auszuarbeiten und unter fachlicher Betreuung zu bearbeiten. Neben der fachlichen Ausbildung im Umfeld Nanomestechnik werden den Studierenden sehr wesentliche 'soft-skills' vermittelt, wie z.B. technische Recherche, Präsentation, Literaturrecherche, usw., welche für die spätere Berufstätigkeit bzw. für die Weiterqualifikation zu einem wissenschaftlichen Master-Studiengang erforderlich sind.</p> <p>Die Studierenden sind nach aktiver Durchführung der Veranstaltung sensibilisiert für die messtechnischen Anforderungen an der Messtechnik für Nanoobjekte. Sie sind in der Lage, die Grundprinzipien einer Nanomesstechnik sich aus der wissenschaftlichen Literatur eigenständig zu beschaffen, anzueignen und für Fachkollegen nachvollziehbar zu erklären. Sie können prinzipiellen Möglichkeiten und Grenzen einer Nanomesstechnik eigenständig aufklären und einordnen, als auch die spezifischen Möglichkeiten eines existierenden Messgerätes und ihre technischen Randbedingungen.</p>

**Description / Content English**

In this project, after the lecturer's introductory seminar at the beginning of the semester, each student receives a defined technical task in the field of measurement technology of nanodisperse systems. This task includes a measurement technique for a nanodisperse system and is selected from a list or suggested by the student himself. The task is carried out individually under the professional guidance of the lecturer and is to be carried out like a project, including specification of the metrological properties to be determined, literature research, market research, explanation of the measuring principle, if necessary measurements at the measuring device manufacturer, reporting and presentation of the results. It should be reported at regular intervals on the basis of a short presentation to the lecturer about the level of knowledge. The final report must be submitted to the lecturer before the seminar. In the joint final seminar, the most important findings are presented in a lecture. The individual performance of the participants is graded.

In his final report, the student should report on:

- possible continuous and disperse phases (e.g. gas / liquid)
- Which size-related properties can be recorded (which equivalent diameter, shape, concentration range, etc.)
- the method-specific properties of the selected measuring technology (such as measuring range, resolution, sensitivity, required sample preparation, in / at / online capability), measuring time, development status, etc.)
- A scientifically sound explanation of the measuring principles with details of the essential innovations, both from the accessible literature and already implemented in commercially available devices. If possible, information should also be collected through personal conversations with developers and / or users
- Specific metrological properties of the measuring devices available on the market

**Learning objectives / skills English**

The students learn systematically to work out a task / a question from the field of nanotechnology, to work out the goals and to work on them under professional supervision. In addition to the technical training in the field of nano measurement technology, students are taught very important 'soft skills', such as Technical research, presentation, literature research, etc., which are required for later employment or for further qualification to a scientific master's degree.

After the event has been carried out actively, the students are sensitized to the metrological requirements for metrology for nano-objects. They are able to independently acquire and acquire the basic principles of nano measurement technology from scientific literature and explain them in a manner that is understandable for their colleagues. They can independently elucidate and classify the principal possibilities and limits of nano measurement technology, as well as the specific possibilities of an existing measuring device and their technical boundary conditions.

**Literatur**

- „Messtechnik nanodisperser Systeme „, Skriptum, Kruis, Einar, 2020
- „Particle Size Measurements „, Henk Merkus, Springer, 2009
- „Aerosol measurements: Principles, techniques, and Applications“, P. Kulkarni, P.A. Baron, K. Willeke, Wiley, 3rd ed., 2009
- Particle Size Measurement (Powder Technology Series), T. Allen, vol. 1 and 2, 2012
- Particle Size Analysis In Pharmaceutics And Other Industries: Theory and Practice, C. Washington, Prentice Hall, 1993

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Moderne anorganische Halbleiter für flexible Optoelektronik</b>			
<b>Course title English</b>			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2		1	
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

In dieser Veranstaltung werden die wichtigsten anorganischen Halbleitermaterialien sowie deren Verwendung in flexiblen und/oder lösungsmittelbasierten optoelektronischen Bauelementen erläutert. Zu Beginn erfolgt eine Vorstellung der wichtigsten Materialklassen (Halogenid-Perowskite, Nanokristalle und 2D Materialien) und deren grundlegenden strukturellen Aufbau sowie der optischen und elektrischen Eigenschaften, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Wirkungsweise der Materialien innerhalb eines Bauelementes gelegt wird (Leitfähigkeit in und quer zur Schicht, optische Effekte innerhalb der Schicht, Einfluss von Stromtransport auf das Material, etc.). Darauf aufbauend wird die Umsetzung oder Ansätze zur Umsetzung verschiedener Bauelementtypen (Lichtemittierende Bauelemente, Photodetektoren, Laser, (Photo)-Transistoren, etc.) mit den unterschiedlichen Materialklassen vorgestellt. Aufbauend auf der Diskussion des Wirkungsmechanismus und der wichtigsten Kenndaten eines bestimmten Bauelementtypes werden anschließend die aus der Materialwahl resultierenden Vorteile und Limitierung in realen Bauelementen diskutiert, und die gängigsten Konzepte zur Umgehung von Problemen vorgestellt.

Die Veranstaltung umfasst neben der Vorlesung auch ein Praktikum, in dem jeweils ein Photodetektor und ein lichtemittierendes Bauelement gebaut und vermessen wird.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Nach Besuch der Veranstaltung kennen die Studierenden die besonderen Charakteristika (Aufbau, grundlegende optische und elektrische Eigenschaften) der wichtigsten modernen anorganischen Halbleiter, die für flexible Optoelektronik geeignet sind. Sowie die die wichtigsten Verfahren zur Herstellung von flexiblen und lösungsmittelbasierten Bauelementen. Sie haben ein Verständnis für die materialspezifischen Vorteile und Herausforderungen bei der Verwendung in optoelektronischen Bauelementen entwickelt.

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

- 1) Tze-Chien Sum and Nripan Mathews: Halide Perovskite – Photovoltaics, Light Emitting Devices and Beyond, Wiley-VCH 2019
- 2) Phaedon Avouris, &lrn;Tony F. Heinz, &lrn;Tony Low: 2D Materials: Properties and Devices, Cambridge University Press 2017
- 3) Dongzhi Chi, &lrn;K.E.Johnson Goh, &lrn;Andrew T.S Wee: 2D Semiconductor Materials and Devices, Elsevier 2020
- 4) Victor Klimov: Nanocrystal Quantum Dots, CRC Press 2010

5) Aparna Thankappan, & Sabu Thomas: Perovskite Photovoltaics - Basic to Advanced Concepts and Implementation, Academic Press 2018

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik</b>			
<b>Course title English</b>			
Advanced Methods for Analytics of Components and Circuits			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>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 kennen die Problematik verrauschter Signale, die Rauschursachen und geeignete Möglichkeiten, optimale Messbedingungen und Messumgebungen auszuwählen. Sie kennen die 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.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>The content of this lecture are modern methodes for device and circuit ananlysis. 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, Photonemission microscopy, Laser Voltage Probing and Thermography round the lecture off.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>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 ananlysis methodes for device and circuit analysis.</p>

<b>Literatur</b>
<p>1) K. Bergmann: Elektrische Messtechnik, Vieweg Verlag 1997  2) Clyde F. Coombs, Jr.: Electronic Instrument Handbook, McGraw-Hill Book Company 2000</p>

- 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

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Die ersten Vorlesungen befassen sich mit den generellen Konzepten der Nachhaltigkeit und Technologiefolgeabschätzung, sowie relevanten Definitionen und Begriffen im nanotechnologischen Umfeld. Diese Ansätze werden im weiteren Verlauf der Vorlesung auf wirtschaftliche, soziologische und ökologische Aspekte hin angewendet.</p> <p>Basierend auf diesen Grundlagen erfolgen in den späteren Vorlesungen die Diskussionen zu umweltrelevanten Eigenschaften von nanostrukturierten Materialien, deren mögliche Auswirkungen auf die Umwelt, Freisetzung- und Transportszenarien, dem Recyceln, sowie die gesamtheitliche Betrachtung der Auswirkungen von nanostrukturierten Materialien.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studierenden lernen die Konzepte der Nachhaltigkeit und deren Einsatz auf das Gebiet der Nanotechnologie anzuwenden. Wesentliche Komponenten sind hierbei der ganzheitliche Ansatz von der Entwicklung der Nanotechnologie, der Erfassung möglicher Begleiterscheinungen (positiv wie negativ), sowie die Anwendung spezifischer Messtechniken und –strategien im Umfeld der Nanotechnologie.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>The introducing lectures will deal with the general concepts of sustainability and technology assessment, as well as relevant terms and definitions related to nanotechnology and technology assessment. These concepts will consecutively be applied related to economical, sociological, and ecological aspects.</p> <p>The subsequent lectures will discuss the environmentally relevant characteristics of nanostructured materials, the possible environmental implications, release and transport scenarios, recycling, as well as the holistic assessment of consequences due to the application of nanostructured materials.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>This lecture series aims at teaching students concepts of sustainability and their application in the area of nanotechnology. Important components are the development of assessments based on integrated approaches for developments in nanotechnology, the collection of accompaniment (positive as negative), as well as the specific application of measurement techniques and strategies related to developments in nanotechnology.</p>

<b>Literatur</b>

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Nano-Biophotonik</b>			
<b>Course title English</b>			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
5	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2		1	
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

**Description / Content English**

**Learning objectives / skills English**

**Literatur**

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Nanokristalline Materialien</b>			
<b>Course title English</b>			
Nanocrystalline Materials			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2		1	
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Nanokristalline Materialien sind polykristalline Festkörper mit einer "Nano"-Mikrostruktur. Unter der Mikrostruktur eines Materials versteht man die Art, Kristallstruktur, Anzahl, Form und topologische Anordnung von Punktdefekten, Versetzungen, Stapelfehlern und Korngrenzen in einem kristallinen Material. Die Mikrostruktur wird bei der Herstellung und Verarbeitung von nanokristallinen Materialien erzeugt und verändert. Sie spielt eine wichtige Rolle bei den Eigenschaften der Endprodukte, wie z.B. der Möglichkeit zu superplastischen Verformung oder beim Transport von Elektronen und Ionen.</p> <p>Themen der Vorlesung sind:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>01. Einführung und Mikrostruktur ?</li> <li>02. Festkörperdiffusion - Mechanismen ?</li> <li>03. Festkörperdiffusion - Korngrenzendiffusion ?</li> <li>04. Phasenumwandlungen ?</li> <li>05. Phasendiagramme?</li> <li>06. Phasenumwandlungen - Größeneffekte?</li> <li>07. Verdichtung und Formgebung?</li> <li>08. Sintern - Thermodynamik und Kinetik ?</li> <li>09. Sintern - Kontrolle der Mikrostruktur?</li> <li>10. Eigenschaften und Anwendungen: Transportphänomene?</li> <li>11. Eigenschaften und Anwendungen: Katalyse und Sensorik</li> </ol> <p>dabei werden sowohl die physikalisch-chemischen (Festkörperchemie- und Physik) und materialwissenschaftlichen Grundlagen behandelt, als auch die Herstellung, Verarbeitung, strukturelle Charakterisierung, Eigenschaften und Anwendung der nanokristallinen Materialien.</p> <p>Im Praktikum wird ein Varistor-Bauelement aus nanokristallinem ZnO hergestellt und strukturell und elektrisch charakterisiert:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Festkörperdiffusion und EDX (HRSEM)</li> <li>2. Spark-Plasma-Sintern von nanokristallinem ZnO und Mikrostrukturentwicklung (HRSEM, XRD)</li> <li>3. Varistor-Bauelement und I-U-Kennlinie</li> </ol>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studierenden sollten in der Lage sein, Mikrostruktur insbesondere Korngrenzen und die Auswirkungen auf Festkörpereigenschaften qualitativ zu beschreiben. Die Studierenden verstehen Mechanismen von Festkörperdiffusion und Sintern und Modelle zu ihrer quantitativen Beschreibung. Sie beherrschen Verfahren zur Verarbeitung und Charakterisierung entsprechender Nanomaterialien und die Methoden zur Einstellung verschiedener Mikrostrukturen.</p>

**Description / Content English**

Nanocrystalline materials are polycrystalline solids with a "nano"-microstructure. The microstructure of a material is the type, phase, number, morphology and topological arrangement of point defects, dislocations, stacking faults and grain boundaries in a crystalline solid. The microstructure is generated and modified during production and processing of nanocrystalline materials and determines the physical and chemical properties of the final products, such as superplastic deformation or transport of ions and electrons.

Topics of the lecture are:

01. Introduction and microstructure
02. Solid state diffusion - mechanisms
03. Solid state diffusion - grain boundary diffusion
04. Phase transitions
05. Phase diagrams
06. Phase transitions - size effects
07. Consolidation and Shaping
08. Sintering - Thermodynamics and Kinetics
09. Sintering - Control of microstructure
10. Properties and Applications - transport phenomena
11. Properties and applications - catalysis and sensors

In the labcourse a varistor device consisting of nanocrystalline ZnO is produced and structurally and electrically characterized:

1. Solid state diffusion and EDX (HRSEM)
2. Spark-plasma-sintering of nanocrystalline ZnO and microstructural development (HRSEM, XRD)
3. Varistor-Device and characteristic I-U curve

**Learning objectives / skills English**

The students are able to qualitatively describe microstructures, especially grain boundaries and corresponding solid state properties. The students understand mechanisms of solid state diffusion and sintering and quantitative models. They master methods to process and characterize nanomaterials and methods to control different microstructures.

**Literatur**

Zur Einführung

- A. S. Edelstein and R. C. Cammarata (eds.), Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, IOP, Bristol 1996
- H. Gleiter, Microstructure, chapter 9 in R. W. Cahn, P. Haasen (eds.), Physical Metallurgy, Elsevier, London 1996
- W. Schilling, K. Urban, and H. Wenzl, Elektrokeramische Materialien, 26. IFF Ferienkurs, Jülich 1995

Zur Vertiefung

- Y.-M. Chiang, D. Birnie, and W. D. Kingery, Physical Ceramics - Principles for Ceramic Science and Engineering, Wiley, New York 1997
- J. Maier, Physical Chemistry of Ionic Materials Ions and Electrons in Solids, Wiley 2004
- M. N. Rahaman, Ceramic Processing and Sintering, Marcel Dekker 2003
- J. E. Reed, Principles of Ceramics Processing, Wiley 1995
- R. M. German, Sintering Theory and Practice, Wiley 1996
- D. Wolf, and S. Yip, Materials Interfaces: Atomic level structure and properties, Chapman and Hall, London 1992

Original-Literatur zur Vertiefung, z.B. in den Zeitschriften

- Materials Research Society Bulletin
- Advanced Materials
- Journal of the American Ceramic Society
- Acta Materialia
- Journal of Materials Science

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Nanopartikel Entstehungsvorgänge</b>			
<b>Course title English</b>			
Nano Particle Generation			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Die Veranstaltung beschäftigt sich detailliert mit den physikalisch-chemischen Grundlagen der Partikelbildung (Keimbildung, Wachstum, Ostwald-Reifung, Sinterung, Kondensation) und ihrer modellhaften Beschreibung. Im Wesentlichen werden die Synthese auf nasschemischem Weg (Sol-gel-Verfahren, Fällungsreaktionen u.a.), durch Gashasensynthese (homogene/heterogene Partikelbildung in der Gasphase, Spraypyrolyse u.a.) und durch physikalische Verfahren in ihren Grundlagen behandelt.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Studierenden sind in der Lage, die Modelle zur Partikelbildung sowie ihre physikalisch-chemischen Grundlagen zu erklären und zu bewerten.

<b>Description / Content English</b>
This lecture addresses a detailed description of the physico-chemical fundamentals of particle formation (nucleation, condensation, growth, Ostwald-ripening, sintering) and the common models. The background of different formation processes like wet synthesis (sol-gel techniques, precipitation), gas-phase synthesis (e.g. homogeneous and heterogeneous particle formation in the gas phase, spray pyrolysis) and physical techniques will be discussed.
<b>Learning objectives / skills English</b>
The students learn to explain and critically review the models of nano particle formation and their chemical and physical fundamentals.

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- G. Schmid (Hrsg.), Nanoparticles: From Theory to Application, Wiley-VCH, Weinheim 2003</li> <li>- T. T. Kodas and M. Hampden-Smith, Aerosol processing of materials, Wiley-VCH, New York, 1999</li> <li>- A. S. Edelstein and R. C. Cammarata (eds.), Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, IOP, Bristol 1996</li> </ul>

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Nanostrukturierung durch Selbstassemblierung</b>			
<b>Course title English</b>			
Nano-structuring by Self-Assembly			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
3	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Veranstaltung befasst sich mit Selbstorganisationsphänomenen zur Strukturbildung. Zu Beginn erfolgt eine Definition der Begriffe "Struktur", "Ordnung", "Selbstassemblierung" und "Selbstorganisation". Es folgt eine Einführung in die statistische Thermodynamik, mit dem Ziel die Extremalprinzipien der klassischen Thermodynamik aus mikroskopischen/statistischen Überlegungen abzuleiten. Im zweiten Teil werden intermolekulare und interpartikuläre Kräfte und Wechselwirkungspotentiale behandelt um daraus qualitative funktionale Abhängigkeiten charakteristischer thermodynamischer Größen, wie chemisches Potential oder Freie Energie für einfache charakteristische Mischsysteme abzuleiten und eine Unterteilung in lokale und nicht-lokale Wechselwirkungen durchzuführen. Im dritten Teil werden dann auf der Basis der vorangestellten Grundlagen Ordnungsphänomene vorrangig in der Flüssigphase wie molekulare Monoschichten, Doppelschichten, Micellen, Vesikel, flüssigkristalline Phasen etc. behandelt und deren Einsatz in der Nanotechnologie beschrieben.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Der Student beherrscht die thermodynamischen Grundlagen der Selbstorganisation. Er kennt den prinzipiellen Zusammenhang zwischen phänomenologischen thermodynamischen Größen und deren statistischer Deutung. Er ist in der Lage, aus Zustandsummen, thermodynamische Größen zu berechnen. Darüber hinaus kennt er die wesentlichen intermolekularen Kräfte und Wechselwirkungen und deren Zusammenhang mit den thermodynamischen Eigenschaften in einfachen Modellsystemen. Für einfache Modellsysteme kann er so Aussagen über die Entropie, die Zustandsumme und das chemische Potential machen. Er ist in der Lage, für einfache Mischsysteme Phasendiagramme zu lesen und mit Hilfe einfacher Modelle Aussagen über kritische Konzentrationen und Formbildungen zu machen. Der Student kennt Beispiele für die Anwendung von Selbstorganisationsphänomenen in der Nanotechnologie.

**Description / Content English**

The lecture considers self-assembly phenomena for structure forming. It starts with a definition of the terms: "Structure", "Order", "Selfassembly" and "Self-organization". It follows an introduction into the statistical thermodynamic in order to explain the extrema –principles in classical thermodynamics by microscopic /statistical considerations. The second part considers intermolecular forces and forces between particles and interaction potentials in order to derive characteristic functions for thermodynamic quantities like chemical potential and free energy for typical mixtures as well as to distinguish between local and non-local interactions. In the third part of the lecture the previous developed basics are applied to typical self-assembly phenomena, mainly in liquids, like molecular mono- and bi-layers, micelles and vesicles and liquid crystal phases and their application in the nanotechnology.

**Learning objectives / skills English**

The students know the thermo dynamical principles of self-assembly. They know the fundamental relation between phenomenological thermodynamic quantities and their microscopic statistical origin. They are able to calculate thermodynamic quantities from a given partition function. Further they know the fundamental

intermolecular forces and interaction potentials and their relation to thermo dynamical properties. The students are able to estimate basic thermodynamic quantities like the entropy, partition function or chemical potential for simple model systems. They are able to read simple phase diagrams. They are able to give estimates for critical concentrations expected shaping.  
They know applications for self assembling processes in the nanotechnology.

#### **Literatur**

Jacob Israelachvili: Intermolecular & Surface Forces; Academic Press 2. Aufl. 2007 (ISBN: 978-0-12-375181-2)

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Nichttechnisches Wahlpflichtfach (NE Ma)</b>			
<b>Course title English</b>			
Non-Technical Subject (NE Ma)			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
6	WS/SS	Deutsch/Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
<b>Prüfungsleistung</b>			
Die Art und Dauer der Prüfung wird gemäß der Prüfungsordnung vom Lehrenden vor Beginn des Semesters bestimmt.			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Mit den nichttechnischen Fächern soll die Möglichkeit gegeben werden, zusätzliche "Soft-Skills" sowie allgemeinbildende Kenntnisse und Fähigkeiten zu erwerben. Die Regeln zur Auswahl der Fächer sind studiengangspezifisch und in der zugehörigen studiengangspezifischen Modulbeschreibung zu finden.</p> <p>Typischerweise sind die Fächer teils aus einem eingeschränkten Katalog, teils frei aus dem Angebot der Universität wählbar, z.B. aus den universitätsweiten Angeboten des "Institut für optionale Studien" (IOS) im sogenannten Ergänzungsbereich.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Ziel des gesamten Moduls ist die Vertiefung der Allgemeinbildung und ggf. die Stärkung der Berufsbefähigung durch den Erwerb weiterer Soft-Skills, z.B. Stärkung der Sprachfähigkeit, Teamfähigkeit oder Präsentationstechniken.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>Non-technical subjects offer the opportunity to acquire additional abilities and knowledge in the sense of "soft skills" as well as general education. The rules for selection of subjects are specific for the study programme and can be found in the corresponding specific module description.</p> <p>Typically, the subjects can be chosen partly from a restricted catalogue, partly from all courses of the university, e.g. out of the courses offered by the „Institut für Optionale Studien“(IOS) within the so-called "Ergänzungsbereich" (supplementary area).</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>The whole module aims at deepening the general knowledge and eventually at improving professional qualifications by acquisition of additional soft skills, e.g. improved language skills, teamwork or presentation techniques.</p>

<b>Literatur</b>

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Numerical Mathematics</b>			
<b>Course title English</b>			
Numerical Mathematics			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
6	WS	Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	2		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Folgende Themen werden behandelt:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Fehleranalyse</b> Darstellung von Zahlen, Gleitpunktzahlen, Rundungsfehler, Fehlerfortpflanzung, Fehlerfortpflanzung bei arithmetischen Operationen, Konditionierung</li> <li><b>2. Nichtlineare Gleichungen</b> Die Sekantenmethode, das Newtonverfahren, Fixpunktverfahren, Nullstellen von Polynomen, Systeme nichtlinearer Gleichungen, das Newtonverfahren für Systeme</li> <li><b>3. Lineare Gleichungssysteme</b> Die LR- und Cholesky-Zerlegung, die LR-Zerlegung, die Cholesky-Zerlegung, das Gaußsche Eliminationsverfahren, die QR-Zerlegung, Problem der kleinsten Quadrate, Iterative Lösungen, das Jacobi-Verfahren, das Gauß-Seidel-Verfahren, Konvergenzeigenschaften</li> <li><b>4. Bestimmung von Eigenwerten</b> Die Potenzmethode, Gerschgorinkreise, die QR-Methode, Hessenbergmatrizen</li> <li><b>5. Gewöhnliche Differentialgleichungen</b> Trennung der Veränderlichen und lineare Gleichungen, Einschrittverfahren, das Eulerverfahren, das verbesserte Eulerverfahren, das Runge-Kutta-Verfahren</li> <li><b>6. Interpolation</b> Lagrangepolynome, Interpolationsfehler, Dividierte Differenzen, Splines</li> <li><b>7. Integration</b> Gaussche Quadraturformeln</li> </ol>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studierenden sollen lernen, typische Probleme aus der Ingenieurmathematik mit numerischen Verfahren zu lösen, darunter lineare und nichtlineare Gleichungssysteme, Eigenwerte, Interpolation, Differentialgleichungen und Integration. Sie sollen lernen, abstrakt formulierte Methoden in eine konkrete Berechnung umzusetzen und diese Verfahren hinsichtlich Genauigkeit und Effizienz zu beurteilen.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>The course deals with the following subjects:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1 Error Analysis</b> Representation of numbers, Floating-point-numbers, Rounding errors, Error Propagation, Error propagation in arithmetic operations, Condition numbers</li> <li><b>2 Nonlinear equations</b> The method of Bisection, The secant method, Newton's method, Fixed point iteration, Polynomial equations, Systems of nonlinear equations, Newton's method for systems</li> <li><b>3 Systems of Linear Equations</b></li> </ol>

The LR and Cholesky Decomposition, The LR-Decomposition, The Cholesky Decomposition, Gauss Elimination and Back-Substitution, Pivoting strategies, The QR Decomposition, Data fitting; Least square problems, Iterative solutions, Jacobi Iteration (total-step-method), Gauss-Seidel-Iteration (single-step-method), Convergence properties

4 Finding Eigenvalues

The Power method, Localizing eigenvalues, The QR-method, Hessenberg matrices

5 Ordinary Differential Equations

Basic analytic methods, Separation of variables, Linear differential equations, One-step-methods, Euler's Method, Midpoint Euler, Two-stage-models, Runge-Kutta-methods

6 Polynomial Interpolation

Lagrange form of Interpolation Polynomial, Interpolation Error, Divided Differences, Spline Interpolation

7 Numerical Integration

Gaussian Quadrature

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

The students should learn, to solve typical problems in engineering-mathematics by numerical methods, among others: Linear and nonlinear systems, eigenvalues, interpolation, differential equations and integration. They should learn to implement general methods into a practical computation and to evaluate them with respect to accuracy and efficiency.

### **Literatur**

- 1 Gautschi, W. Numerical Analysis, Birkhäuser,1997.
- 2 Hammerlin und Hoffmann. Numerische Mathematik, Springer,1994.
- 3 Householder. A.S. Principles of Numerical Analysis, Dover Publications,1974.
- 4 Kincaid,D. and Cheney, W. Numerical Analysis, Brooks/Cole Publishing,1991.
- 5 Locher. Numerische Mathematik für Informatiker,1993.
- 6 Philipps,C. and Cornelius, B. Computational Numerical Methods, Ellis Hoorwood.
- 7 Stoer, J. and Burlisch, R. Introduction to numerical Analysis,2005.

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Optische Signalverarbeitung</b>			
<b>Course title English</b>			
Optical Signal Processing			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS/SS	Deutsch/Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			
Schriftliche Prüfung (Klausur)			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
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.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
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.

<b>Description / Content English</b>
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.
<b>Learning objectives / skills English</b>
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.

<b>Literatur</b>
------------------

- [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

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Organische Elektronik und Optoelektronik</b>			
<b>Course title English</b>			
Organic Electronics and Optoelectronics			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			
mündliche Prüfung, 45 Minuten			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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 Kenndaten eingeführt und an den historischen Entwicklungsstufen werden grundlegende Bauteilkonzepte erörtert.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>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.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>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 in 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</p>

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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 <math>\mu</math>-Si, der 2. Generation: a-Si, organische und Graetzelzellen sowie auf Solarzellen der 3. Generation: Tandem Zellen eingegangen.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studenten sind in der Lage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Das Energiegenerationspotential der Technologie zu erklären</li> <li>- 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.</li> <li>- Generations und Rekombinations-mechanismen zu erklären.</li> <li>- Begrenzungen in der maximalen Konversionseffizienz zu erklären und hierbei zwischen materialbedingten, prozessbedingten und strukturbedingten Begrenzungen zu unterscheiden</li> <li>- Solarzellen elektro-optisch zu charakterisieren und die Ergebnisse mit Hilfe von standard Ersatzschaltbildern zu Interpretieren.</li> <li>- Solarzellen der drei Generationen zu unterscheiden, deren Funktionsweise zu beschreiben und deren Vor- und Nachteile zu erklären.</li> </ul>

<b>Description / Content English</b>
<p>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 <math>\mu</math>-Si, the 2nd generation: a-Si, organic and Graetzel cells as well as solar cells of the 3rd generation: tandem cells are discussed.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>The students are able:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- to describe the energy generation potential of this technology.</li> <li>- 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.</li> <li>- to describe generation and recombination mechanisms.</li> </ul>

- 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

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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.</p> <p>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.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studenten werden in der Lage sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- die Funktionsweise einer Solarzelle zu erklären,</li> <li>- Bänderdiagramme und quasi-Fermi Niveaus im Dunkeln und unter Beleuchtung zu verstehen und zu benutzen,</li> <li>- den Unterschied zwischen geordneten (kristallinen) und ungeordneten (nanokristallinen oder amorphen) Halbleitern zu verstehen,</li> <li>- Messmethoden zu kennen und zu erklären, die zur Untersuchung von Materialien, Schichten, Schichtstapeln und ganzen Bauelementen in der Photovoltaik genutzt werden,</li> <li>- Solarzellen mit einer Software numerisch zu simulieren.</li> </ul>

<b>Description / Content English</b>
<p>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.</p> <p>The course is intended for both, students that have already attended the course Phovoltaics by Dr. Benson and for students that have not or not yet attended this course.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>

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

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Projekt Master NanoEngineering</b>			
<b>Course title English</b>			
Project Work Master Nano			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
8	WS	Deutsch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
		5	
<b>Prüfungsleistung</b>			
Form und Kriterien für die Studienleistung werden gemäß Prüfungsordnung vom Lehrenden zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
In diesem Projekt erhält eine Gruppe von Studierenden eine definierte fachliche Aufgabe im Bereich aktueller Forschung im Umfeld NanoEngineering. Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt im Team und ist wie ein Projekt abzuwickeln, einschließlich Spezifikation, Konzeption, Schnittstellenabsprachen, Terminplanung, (englische) Literaturrecherchen, Präsentation der Ergebnisse (vorzugsweise in englischer Sprache). Es erfolgt eine Benotung der individuellen Leistungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Zur Stärkung der interdisziplinären Ausbildung soll das Projekt Lehrstuhl-übergreifend definiert werden und von mehr als einem/einer Hochschullehrer/in betreut werden.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Die Studierenden lernen systematisch eine Aufgabe / eine Fragestellung aus der aktuellen Forschung zu gliedern, Meilensteine zu definieren und im Team zu lösen. Neben der fachlichen Ausbildung zu aktuellen F&E Fragestellungen werden den Studierenden sehr wesentliche 'soft-skills' vermittelt, wie z.B. Teamarbeit, Präsentation (vorzugsweise in Englisch), Literaturrecherche (in englischer Sprache), usw., welche für die spätere Berufstätigkeit erforderlich sind.

<b>Description / Content English</b>
In this project, a group of students is given a defined professional task in the field of current research in nanoengineering. The solution of this task is done in a team and has to be handled like an industrial project, including specification, conception, interface arrangements, scheduling, (English) literature research, presentation of the results (preferably in English). A grading of the individual achievements of the participants will be made. In order to strengthen the interdisciplinary education, the project should be defined as cross-departmental and be supervised by more than one university teacher.
<b>Learning objectives / skills English</b>
The students learn to systematically structure a task/question from current research, define milestones and solve them in a team. In addition to the technical education on current R&D issues, students are taught very important soft skills, such as teamwork, presentation (preferably in English), literature research (in English), etc., which are necessary for their future professional activities.

<b>Literatur</b>
Literaturrecherche entsprechend der gestellten Aufgabe

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Projektmanagement</b>			
<b>Course title English</b>			
Project Management			
<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>
2			
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
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.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
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.

<b>Description / Content English</b>
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.
<b>Learning objectives / skills English</b>
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.

<b>Literatur</b>
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

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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.</p> <p>Neben der Vorlesung werden Übungen angeboten.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>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.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>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 - ...).</p> <p>Both lectures and exercises arrange fundamental knowledge about Project Management.</p>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>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 planings.</p>

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rinza, P. Projektmanagement 4. Auflage, Springer, ISBN 3-540-64021-5</li> <li>- Seibert, S. Technisches Management 5. Auflage, Schäffer-Poeschel, ISBN 3-7910-0694-0</li> </ul>

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Quantitative bildgebende Messtechniken in Strömungen</b>			
<b>Course title English</b>			
Quantitative Imaging in Flows			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			
Schriftliche und mündliche Präsentation der Laborversuche			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Die Vorlesung behandelt bildgebende Messtechniken, die in Strömungen eingesetzt werden können, um quantitativ und berührungslos physikalische und chemische Eigenschaften ab zu bilden. Z.B. kann mit der laserinduzierten Fluoreszenz (LIF) die Kraftstoffkonzentration in einem Motor vermessen werden. Messprinzipien, Hardware (z.B. Kameratechnologie), und Datenverarbeitung werden erläutert. Im begleitenden Praktikum (separat aufgeführte Veranstaltung) bauen die Studenten einen klassischen Versuch der turbulenten Strömungslehre auf, führen ihn durch, und werten die Ergebnisse aus: 2D-Messung des Konzentrationsfeldes im turbulenten Freistrah. Die Studenten dokumentieren Vorgehen und Ergebnisse in einem Praktikumsbericht.</p> <p>Inhalte: Vorlesung und übung: 1) Warum laser-basierte Messmethoden in Strömungen? Vorführen eines typischen Experimentes im Labor. 2) Bildgebende Strömungsmessung: Methoden, Anwendungen, Beispiele 3) Einfache Optik: Strahlenoptik, Polarisation, Interferenz, Filter 4) Laser: Physik, Laserarten, Baugruppen. LEDs. 5) Bildformung: Auflösung, Objektive, Abbildungsfehler. 6) Kameras und Detektoren: CCD, ICCD, CMOS, Photodiode, PMT. Sensorgüte und Rauschen. 7) Bildverarbeitung: Photometrie, Filtern, Statistische Analyse.</p> <p>Praktikum (Fluoreszenz-basierte Abbildung eines turbulenten Freistrahls): Literaturüberblick Aufbau des Experimentes Datenerfassung, Bearbeitung und Auswertung Bericht</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studierenden verstehen die Grundlagen und Anwendungen quantitativer bildgebender Messverfahren in reaktiven Strömungen, insbesondere die dazu gehörigen Technologien wie Kamerasysteme und Lichtquellen. Sie können grundlegende Parameter der Bildgebung in typischen Anwendungen abschätzen.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>This class discusses two-dimensional measurement techniques, which can be used to quantitatively and non-intrusively image physical and chemical properties in flows. For example, laser-induced fluorescence (LIF) can image the fuel concentration in the cylinder of an automotive engine. Measurement techniques, hardware (for example, camera technology), and image processing are discussed. In the accompanying lab (listed separately), students will set up and evaluate a classic experiment of turbulent fluid dynamics: a 2D measurement of the</p>

instantaneous concentration in a turbulent free jet. The students document experiment and result in a lab report.

**Syllabus:**

Lecture and problem session:

1) Why use laser-based imaging in (reacting) flows?

Demonstration of a typical experiment in the lab.

2) Flow-imaging diagnostics: Method, applications, example.

3) Basic optics: Geometric optics, polarization, interference, filters.

4) Lasers: Physics, classes of lasers, laser components. LEDs.

5) Imaging: Resolution, lenses for imaging, aberrations.

6) Cameras and detectors: CCD, ICCD, CMOS, Photodiode, PMT. Sensor performance and noise.

7) Image processing: Photometric processing, filtering, statistical analysis

Laboratory (Fluorescence imaging in a turbulent jet):

Review literature

Set up experiment

Acquire, process, and evaluate data

Write report

**Learning objectives / skills English**

The students understand the fundamentals and applications of quantitative imaging techniques for spatially resolved measurements in reacting flows, in particular the corresponding technologies like cameras and light sources. They are able to estimate basic parameters of imaging for typical applications.

**Literatur**

Eckbreth, Laser diagnostics for combustion temperature and species, Gordon and Breach, Amsterdam, 1996

Demtröder, Laserspektroskopie. Grundlagen und Techniken, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2000

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Regelungstechnik EIT</b>			
<b>Course title English</b>			
Control Engineering EIT			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
5	SS	Deutsch	1
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	2		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>Die Lehrveranstaltung besteht aus den folgenden Kapiteln:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einführung</li> <li>2. Modellbildung dynamischer Systeme</li> <li>3. Stabilitätsuntersuchung</li> <li>4. Synthese von Regelkreisen</li> <li>5. Verfahren zum Reglerentwurf</li> <li>6. Synthese durch Veränderung der Regelungsstruktur</li> </ol> <p>Im ersten Teil wird die klassische Regelungstechnik fortgesetzt. Für den Reglerentwurf werden empirische Einstellregeln, Gütekriterien im Zeitbereich und Methoden im Frequenzbereich (Polkompensation, Betragsoptimum, symmetrisches Optimum) behandelt. Dann werden in der Praxis häufig verwendete strukturelle Varianten des Regelkreises, wie z.B. Split-Range-Regelung, Verhältnisregelung, Regler mit zwei Freiheitsgraden (Vorfilter und Vorwärtssteuerung), Störgrößenaufschaltung, Kaskadenregelung, Smith-Prädiktorregler für Totzeitstrecken u.a. betrachtet.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studierenden sollen Grundfunktionen automatisierungstechnischer Systeme analysieren können. Sie sollen das Verhalten von linearen zeitinvarianten dynamischen Systemen und Regelkreisen im Zeit- und Frequenzbereich beschreiben und analysieren können und deren Stabilität untersuchen können. Ferner sollen sie in der Lage sein, einfache Regler zu konzipieren und applizieren.</p>

<b>Description / Content English</b>
<p>The lecture consists of the following chapters.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1: Introduction</li> <li>2. Modelling of dynamic systems</li> <li>3. Stability study</li> <li>4. Synthesis of feedback control systems</li> <li>5. Design methods</li> <li>6. Variations of control structures</li> </ol>
<b>Learning objectives / skills English</b>
<p>The students should be able to analyze basic components in automatic control systems. They should be able to describe and analyze linear time-invariant dynamic systems and closed control loops and to check the stability. They should further be able to design simple controllers and parameterized them.</p>

<b>Literatur</b>
------------------

- [1] S. X. Ding, Vorlesungsskript "Einführung in die Automatisierungstechnik" (wird jährlich aktualisiert, per Download verfügbar).
- [2] H. Unbehauen, Regelungstechnik 1. Vieweg, Braunschweig u.a., 13. Aufl. 2005.
- [3] G.F. Franklin und J. D. Powell et al.: Feedback Control of Dynamic Systems. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 5th ed. 2006.
- [4] J. Lunze, Regelungstechnik 1, 2. Auflage, Springer-Verlage, 1999.

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Repetitorium der Maxwell'schen Theorie</b>			
<b>Course title English</b>			
Revision Course of Maxwell's Theory			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
4	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		
<b>Prüfungsleistung</b>			

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Vorlesung dient u.a. der Vorbereitung und Begleitung der Theoretischen Elektrotechnik.

Sie versucht den Spagat zwischen mathematischer Strenge und physikalischer Intuition zu schließen. Die Verzahnung zwischen Physik und Mathematik steht im Mittelpunkt der Veranstaltung.

In mehreren Lektionen wird die Vektoranalysis und ihre Anwendung auf die Berechnung elektromagnetischer Felder behandelt. Die Darstellung der Maxwell'schen Gleichung unter Verwendung des Nabla-Operators (differentielle Form) steht im Mittelpunkt

Neben der Theorie erfolgt die Vertiefung anhand anschaulicher Beispiele und Musteraufgaben.

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Die Teilnehmer sollen lernen,

- welche mathematischen Methoden bei der elektromagnetischen Feldtheorie angewendet werden
- die Unterscheidung nach statischen, stationären und dynamischen Vorgängen zu treffen
- wie die Unterscheidung der differentiellen/integralen Formulierung der Maxwell'schen Gleichungen erfolgt
- welche Methode am Besten zur Beschreibung spezieller Problemklassen geeignet ist

**Description / Content English**

This course is designed as a preparation of the theoretical electrical engineering.

Mathematical methods on the one hand side in contrast to physical intuition on the other hand side are in the focus of this course.

In several lessons we will introduce vector analysis and its application to the calculation of electromagnetic fields. Formulation of Maxwell's equation by the nabla operator is emphasized.

The theory is supplemented by a lot of illustrative examples and exercises.

**Learning objectives / skills English**

Participants will learn

- how mathematical methods are applied in electromagnetic field theory
- the distinction between static, stationary and dynamic processes
- how to distinguish the differential / integral formulation of Maxwell's equations
- which method is best used to describe specific problem classes

## Literatur

1. Ingo Wolff, Grundlagen und Anwendungen der Maxwell'schen Theorie I und II: Ein Repetitorium (VDI-Buch) (Deutsch) Taschenbuch – 13. März 1996  
294 Seiten, Verlag: Springer; Auflage: 3., überarb. (13. März 1996)  
ISBN-10: 3540621776, ISBN-13: 978-3540621775
2. Silvanus P. Thompson, Höhere Mathematik - und doch verständlich : Eine leichtfassl. Einf. in d. Differential- u. Integralrechnung Nachdruck der 12. Auflage, Deutsch Taschenbücher, 1988, ISBN:978-3-87144-739-6
3. Murray R. Spiegel, Höhere Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Theorie und Anwendung (Schaum's Outline) - 950 ausführliche Lösungsbeispiele (Englisch) Taschenbuch – Ungekürzte Ausgabe, 1. Januar 1978  
416 Seiten, Verlag: Schaum Outline Series (1. Januar 1978) ISBN-10: 0070920230, ISBN-13: 978-0070920231
4. Murray R. Spiegel, Vektoranalysis. Theorie und Anwendung. Mit einer Einführung in die Tensoranalysis. (Schaum's Outline) (Englisch) Taschenbuch – 1. Januar 1977 240 Seiten, Verlag: McGraw-Hill, Maidenh. (1. Januar 1977) ISBN-10: 007092015X, ISBN-13: 978-0070920156
5. Richard Demmig und Gudrun Demmig, Repetitorien der Mathematik, versch. Bände,
  - Vektorrechnung I und II
  - Komplexe Zahlen I und II
  - Funktionen mehrerer Veränderlicher
  - Integralrechnung
  - Differentialgleichungen
  - Matrizen und Determinanten(jeweils separate Bände, z.T. nur antiquarisch erhältlich)  
Verlag: Demmig (1987) ISBN-10: 3921092604, ISBN-13: 978-3921092606
6. Karl Küpfmüller Theoretische Elektrotechnik: Elektromagnetische Felder, Schaltungen und elektronische Bauelemente (Deutsch) Taschenbuch – 29. August 2017, 824 Seiten, Verlag: Springer Vieweg; Auflage: 20., aktualisierte Aufl. 2017 (29. August 2017) ISBN-10: 3662548364, ISBN-13: 978-3662548363
7. Horst Rollnick, Physikalische und mathematische Grundlagen der Elektrodynamik. Taschenbuch – 1. Januar 1976 209 Seiten, Verlag: Bibliographisches Institut, Mannheim; Auflage: 1. (1976) ISBN-10: 3411002972, ISBN-13: 978-3411002979
8. Arnold Sommerfeld, Vorlesungen über Theoretische Physik, Bd.3, Elektrodynamik (Deutsch) Taschenbuch – 1. Januar 1988 343 Seiten, Verlag: Harri Deutsch; Auflage: (Nachdr. d. 4. Aufl. 1988) (1. Januar 1988) ISBN-10: 387144376X, ISBN-13: 978-3871443763
9. Richard P. Feynman, The Feynman Lectures on Physics, Vol. II: The New Millennium Edition: Mainly Electromagnetism and Matter (Feynman Lectures on Physics (Paperback)) (Englisch) Taschenbuch – 4. Oktober 2011 592 Seiten, Verlag: Basic Books; Auflage: New Millenium (4. Oktober 2011) ISBN-10: 0465024947, ISBN-13: 978-0465024940
10. G. Mierdel und S. Wagner, Aufgaben zur theoretischen Elektrotechnik. Gebundene Ausgabe – 1. Januar 1968, VEB Technik, ASIN: B00B00HWOA (nur antiquarisch erhältlich)

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Rheologie und Rheometrie von Flüssigkeiten und Suspensionen</b>			
<b>Course title English</b>			
Rheology and Rheometry of Liquids and Suspensions and Suspensions			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
3	SS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2			
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
Kolloidale Produkte begegnen uns täglich im Alltag und sind essentieller Bestandteil neuer und nachhaltiger Technologien. Für deren Beherrschung ist ein grundlegendes Verständnis von deren Fließverhalten erforderlich.
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
Studierende verstehen nach dem Besuch der Vorlesung hydrodynamische Effekte im Fließverhalten nicht-kolloidaler Teilchen und können ausgehend von diesen das Fließverhalten harter Kugeln sowie das Fließverhalten realer Dispersionen, d.h. in Anwesenheit von repulsiven und attraktiven Wechselwirkungen interpretieren. Grundlagen zu zeitabhängigen rheologischen Effekten (Thixotropie) sind bekannt. Die Studierenden kennen die zugehörigen Messmethoden und können diese hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile sowie hinsichtlich der Systemspezifischen Randbedingungen miteinander vergleichen.

<b>Description / Content English</b>
Colloidal products are omnipresent in our daily life but also essential for new and sustainable technologies. For mastering them, an in-depth understanding of their flow behaviour is required.
<b>Learning objectives / skills English</b>
After visiting the lecture, students understand hydrodynamic effects in the flow of non-colloidal particles and can use this as starting point to interpret the flow of hard spheres and real dispersions, i.e., in the presence of repulsive and attractive interactions. Basics of time-dependent rheological effects (thixotropy) are known. The students know about the related measurement techniques and are able to discuss them with regard to their advantages and disadvantages as well as with regard to their system-specific boundary conditions.

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mewis, N.J. Wagner: Colloidal suspension rheology, Cambridge University Press, 2012</li> <li>- Irgens: Rheology and Non-Newtonian Fluids, Springer, 2014</li> <li>- Lerche, R. Miller, M. Schäffler: Dispersionseigenschaften 2D-Rheologie, 3D-Rheologie, Stabilität, Eigenverlag Berlin-Potsdam, 2015</li> <li>- Worthoff: Technische Rheologie, WILEY-VCH, Weinheim</li> <li>- G. Mezger: Das Rheologiehandbuch, Vincentz Network, 2016</li> <li>- A. Osswald: Polymer Rheology, Hanser Publishers, Munich</li> <li>- N. Israelachvili: Intermolecular and surface forces, Academic press, 2011</li> </ul>

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Ringvorlesung Thermoelektrik</b>			
<b>Course title English</b>			
Lecture Series Thermoelectrics			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
5	WS	Deutsch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	2		
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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 Phononstreuung zunächst theoretisch vorgestellt und anschließend ihre messtechnische Überprüfung dargestellt.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die Studenten sind in der Lage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- thermoelektrische Phänomene zu erklären</li> <li>- elektrische und Wärmeleitfähigkeit, Seebeck- und Peltier-Koeffizient zu definieren</li> <li>- den Gütefaktor ZT und die Effizienz eines thermoelektrischen Generators zu bestimmen</li> <li>- die Grundzüge der Onsagerschen Transporttheorie sowie die Kelvin-Beziehung zu erläutern</li> <li>- die Boltzmann-Gleichung in der Relaxationszeitnäherung herzuleiten</li> <li>- den elektrischen und Gitterbeitrag zur Wärmeleitfähigkeit im Halbleiter zu diskutieren</li> <li>- messtechnische Konzepte zur Bestimmung der Transport-Koeffizienten anzuwenden</li> <li>- materialwissenschaftliche Optimierungsgesichtspunkte anzuwenden</li> <li>- den Einsatz von Nanopartikeln für thermoelektrische Anwendungen zu erläutern</li> <li>- Effizienzsteigerung durch Reduzierung der Dimensionalität und Energiefilterung zu diskutieren</li> <li>- den Einfluss von Grenzflächen auf elektrischen und Wärmewiderstand zu verstehen</li> </ul>

<b>Description / Content English</b>
<p>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</p>

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).

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

**Beschreibung / Inhalt Deutsch**

Die Vorlesung vermittelt Wissen über kontinuumsmechanische Modelle der Strömungsmechanik, ihre Grundlagen und vereinfachende Annahmen. Folgende Inhalte werden vermittelt:

1. Kinematik der Fluide und Transporttheoreme
2. Erhaltungsgleichungen von Masse, Impuls und Energie
3. Ähnlichkeitstheorie der Strömungsmechanik
4. Beschreibung viskoser, inkompressibler Strömungen
5. Schleichende Strömung
6. Potentialströmung
7. Grenzschichttheorie und Einführung in turbulente Strömungen
8. Eindimensionale Gasdynamik

**Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch**

Studenten die die Vorlesung erfolgreich besucht haben sind in der Lage:

1. Komplexe strömungsmechanische Probleme zu analysieren und mathematisch zu beschreiben
2. Strömungsmechanische Probleme zu klassifizieren und auf (vereinfachte) Modelle zu übertragen
3. Strömungsmechanische Probleme mittels der Potentialtheorie zu lösen
4. Reibungseinflüsse in Strömungen richtig einzuschätzen und richtigen Modellen zuzuordnen und ggfls. zu lösen
5. Gasdynamische Probleme zu erkennen und für eindimensionale Probleme mathematisch zu beschreiben, Druck- und Wärmeverluste zu berechnen

**Description / Content English**

The lecture teaches the continuum mechanical models of fluid mechanics, their basics and simplifying assumptions. Main topics are:

1. Kinematics of fluids and transport theorem
2. Conservation equations for mass, momentum and energy
3. Similarity of flows
4. Viscous, incompressible flows
5. Creeping flow
6. Potential flow theory
7. Boundary layer theory and introduction to turbulent flows
8. One-dimensional stream tube theory of compressible flows

**Learning objectives / skills English**

Students which attended the lecture are capable:

1. To analyze complex fluid mechanical problems and to find an adequate mathematical description
2. To classify fluid mechanical problems and to apply simplifying model assumptions
3. To solve fluid mechanical problems using the potential theory

4. To correctly estimate viscous effects and to apply suitable rheological models
5. To recognize the effects of compressibility and to find mathematical description for one-dimensional flows; To calculate heat and pressure losses in viscous, compressible flows

#### **Literatur**

- Script
- Moodle

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

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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.</p> <p>Folgende Themenbereiche werden von der Vorlesung behandelt:</p> <p>I. Mikrotechniken:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bulkmikromechanik (isotropes und anisotropes nasschemisches ätzen, Plasma-Tiefenätzen)</li> <li>- Oberflächenmikromechanik und andere Mikrotechniken (Opferätztechnik, Epi-Polysilizium, SOI, Sticking-Problematik, Vergleich unterschiedlicher Mikro- und Nanostrukturtechniken)</li> </ul> <p>II. Mikrosensoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Thermische Sensoren (Thermistoren, PT-Sensor, integrierte Temperatursensoren, Anemometrie, Luftmassensensor)</li> <li>- Mechanische Sensoren (piezoresistive und kapazitive Drucksensoren, Beschleunigungssensoren, Drehratensensoren)</li> <li>- Sensoren für Strahlung (CMOS-Bildsensor, CCD, IR-Sensor, Teilchendetektoren)</li> <li>- Magnetfeldsensoren (Spinning-current Hallplate, Magnetoresistivität)</li> <li>- Chemische und Biosensoren (Chemisch sensitive FETs, SAW-Sensoren, DNA-Chip)</li> <li>- Skalierung von Sensorstrukturen in den Nanometerbereich</li> </ul> <p>III. Mikroaktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mikroaktoren (Wirkprinzipien, Mikrospiegel, Mikrostimulatoren)</li> <li>- Mikrofluidik (Mikroventile, Mikropumpen, implantierbares Medikamentendepot, Lab-on-a-Chip)</li> </ul> <p>IV. Systemtechniken:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwurf, Simulation und Test (Entwurfsmethodik, Simulation, Test- und Prüfverfahren)</li> <li>- Integrationstechniken (monolithische und hybride Integration, Aufbau-und-Verbindungstechnik und Gehäusetechnik für Mikro- und Nanosysteme)</li> </ul> <p>Inhalt der übungen: Vertiefende praktische Aufgaben und Beispiele zum Stoff der Vorlesung</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>

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:

- Mikroaktoren (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

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Technisches Management</b>			
<b>Course title English</b>			
<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 jahrelangen 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**

--

<b>Literatur</b>
------------------

--

<b>Kursname laut Prüfungsordnung</b>			
<b>Thermo-electric Materials and Systems</b>			
<b>Course title English</b>			
Thermo-electric Materials and Systems			
<b>Kreditpunkte</b>	<b>Turnus</b>	<b>Sprache</b>	<b>Pflicht/Wahl</b>
5	SS	Englisch	0
<b>SWS Vorlesung</b>	<b>SWS Übung</b>	<b>SWS Praktikum/Projekt</b>	<b>SWS Seminar</b>
2	1		1
<b>Prüfungsleistung</b>			

<b>Beschreibung / Inhalt Deutsch</b>
<p>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.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Typische thermoelektrische Materialien und ihre Herstellung</li> <li>- Fertigung von thermoelektrischen Generatoren und Kühlern</li> <li>- Kontaktentwicklung für thermoelektrische Bauteile</li> <li>- Synthese-Mikrostruktur-Funktionseigenschaften Zusammenhänge</li> <li>- Beschreibung und Modellierung thermoelektrischer Bauteile in verschiedenen Komplexitäten: Einfluss von Kontaktwiderständen, Effekte der Temperaturabhängigkeit von Materialeigenschaften</li> <li>- Messtechnik für thermoelektrische Materialien und Bauteile</li> <li>- Auslegung thermoelektrischer Bauteile für verschiedene Anwendungsgebiete (Raumsonden, Automotive, Gesundheitswesen)</li> </ul> <p>Die Vorlesung ist ausgesprochen interdisziplinär und beinhaltet Aspekte der Halbleiterphysik, der Festkörperelektronik, der Thermodynamik, aber auch der Fertigungstechnik und Materialwissenschaft und Messtechnik.</p> <p>Die grundlegenden Vorlesungsinhalte werden durch Anwendungsbeispiele ergänzt, in denen auch Systemaspekte thematisiert werden.</p> <p>Eine Teilnahme an der Ringvorlesung Thermoelektrik ist vorteilhaft.</p> <p>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 elektrische Transport 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.</p> <p>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.</p>
<b>Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch</b>
<p>Die StudentInnen sind in der Lage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Vor- und Nachteile von thermoelektrischen Kühlern und Generatoren in verschiedenen Anwendungen zu erläutern</li> </ul>

- 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
- Vorzüge 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)