**Hochschule Karlsruhe**
University of
Applied Sciences

Fakultät für
**Elektro- und**
**Informationstechnik**

# Modulhandbuch für den Master-Studiengang Elektro- und Informationstechnik

## Abschluss: Master of Science (M.Sc.)

Stand: 01.10.2026
SPO Version 6004 – 01. Sep. 2026

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... 2
1 Einleitung ..... 4
1.1 Module ..... 4
1.2 Leistungspunkte ..... 4
2 Übersicht über den Studiengang ..... 5
3 Module ..... 8
3.1 Vertiefungsrichtung Informationstechnik ..... 8
3.1.1 Verification of Embedded Systems ..... 8
3.1.2 Communication Systems ..... 10
3.1.3 3D Vision ..... 12
3.1.4 Information Theory and Coding ..... 14
3.1.5 Design and Analysis of Integrated Circuits ..... 16
3.1.6 RF Systems ..... 18
3.2 Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik ..... 20
3.2.1 Design for Six Sigma ..... 20
3.2.2 Sichere Mensch-Roboter Kollaboration ..... 22
3.2.3 Safety and Security in Automation ..... 25
3.2.4 Machine Learning ..... 28
3.2.5 Gehobene Regelungstechnik ..... 30
3.2.6 Betriebsleittechnik ..... 32
3.3 Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien ..... 34
3.3.1 Elektrische Antriebe ..... 34
3.3.2 Hochspannungsprüftechnik und EMV ..... 36
3.3.3 Solare Energienutzung ..... 39
3.3.4 Netzbetrieb und Schaltgeräte ..... 41
3.3.5 Verteilte Energiesysteme ..... 43
3.3.6 Seminar Erneuerbare Energien ..... 46
3.4 Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik ..... 48
3.4.1 Theoretische Aspekte der Sensorik ..... 48
3.4.2 Chemical and Biological Sensors ..... 50
3.4.3 Real Time Signal Processing ..... 53
3.4.4 Sensor Miniaturization ..... 55
3.4.5 Advanced Sensors ..... 57
3.4.6 Umwelttechnologie ..... 60

3.5 Vertiefungsrichtung Elektromobilität und Autonome Systeme ..... 63
3.5.1 Elektrische Antriebe ..... 63
3.5.2 Switched Mode Power Supplies ..... 63
3.5.3 Radarsysteme ..... 65
3.5.4 Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie ..... 67
3.5.5 Gehobene Regelungstechnik ..... 70
3.5.6 Advanced Computational Imaging and Displays ..... 70
3.6 Allgemeine Module ..... 73
3.6.1 Wissenschaftliches Arbeiten ..... 73
3.6.2 Wahlmodule ..... 74
3.6.3 Master-Thesis ..... 75
3.6.4 Abschlussprüfung ..... 76

# 1 Einleitung

Dieses Handbuch beschreibt den Masterstudiengang Elektro- und Informationstechnik, der an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft angeboten wird.
Ziel des Handbuchs ist es, den Studierenden sowie Studiumsinteressenten einen Überblick über das Master-Studium zu geben (Kapitel 2) und gleichzeitig auch eine ausführliche Beschreibung der Lehrinhalte der einzelnen Module und der ihnen zugeordneten Lehrveranstaltungen zu sein. Insofern erfüllt dieses Modulhandbuch auch die Funktion eines kommentierten Vorlesungsverzeichnisses.
Die Beschreibung der Module orientiert sich an den Standards, die von der Kultusministerkonferenz (KMK) in ihrem Beschluss zur Einführung von Leistungspunkten und zur Modularisierung der Studiengänge vorgegeben wurden.

## 1.1 Module

Unter Modularisierung versteht man die Zusammenfassung von Stoffgebieten zu thematisch und zeitlich abgerundeten, in sich geschlossenen und mit Leistungspunkten versehenen abprüfbaren Einheiten. Module können sich aus verschiedenen Lehr- und Lernformen zusammensetzen. Wenn alle zu einem Modul gehörigen Prüfungsleistungen erbracht sind, werden dem Prüfungskonto Leistungspunkte gutgeschrieben und es wird die Note des Moduls berechnet.
Mit der Modularisierung wird das Ziel verfolgt, die Mobilität der Studierenden zu fördern, indem ein wechselseitiges Anerkennen von Studienleistungen ermöglicht wird.

## 1.2 Leistungspunkte

Die Leistungspunkte oder Kreditpunkte (englisch Credit Points, Abkürzung CP) dienen der quantitativen Erfassung der von den Studierenden erbrachten Arbeitsleistung. Ein Leistungspunkt entspricht dabei einem Studienaufwand von 30 Stunden effektiver Studienzeit. Sie umfasst Präsenzzeiten, Vor- und Nachbereitung sowie Prüfungsvorbereitung. Ein Studienjahr umfasst 60 CP, entsprechend 1800 Arbeitsstunden im Jahr. Der Umfang von Lehrveranstaltungen und die zugehörigen Leistungspunkte der einzelnen Lehrveranstaltungen sind in den Modulbeschreibungen angegeben.

Leistungspunkte werden nur insgesamt für ein Modul vergeben und nur dann, wenn alle einem Modul zugeordneten Prüfungsleistungen und ggf. Prüfungsvorleistungen erfolgreich abgelegt wurden.

# 2 Übersicht über den Studiengang

Der Masterstudiengang Elektro- und Informationstechnik führt nach drei Semestern mit einem Arbeitsaufwand von 90 CP nach ECTS zum Abschluss „Master of Science“.

Ziel des Masterstudiengangs ist es, basierend auf einer breiten Grundlagenausbildung den Studierenden eine Vertiefung in wichtigen Teilbereichen der Elektro- und Informationstechnik zu ermöglichen. Dabei steht der Erwerb von fundierten theoretischen Kenntnissen im Vordergrund. Die Anzahl von Laborveranstaltungen ist z.B. gegenüber einem Bachelorstudiengang erheblich reduziert. Die Studierenden werden befähigt, komplexe Sachverhalte zu verstehen, sie in mathematischen oder physikalischen Modellen darzustellen, Erkenntnisse daraus zu gewinnen und diese auf verwandte Aufgabenstellungen anzuwenden. Ein wichtiger Aspekt der Master-Ausbildung ist auch, die Studierenden zu selbstständigem wissenschaftlichen Arbeiten anzuleiten. So erbringen die Studierenden mehr als 40% der erforderlichen CP (bis zu 38 von 90 CP) in unter Anleitung eigenständig durchgeführter angewandter Forschung im Rahmen von Projektarbeiten und der Masterarbeit.

Der Abschluss befähigt die Studierenden zur Aufnahme einer Tätigkeit in Entwicklungs- und Forschungsabteilungen der elektro- und informationstechnischen Industrie, als technische Projektleiter und Projektkoordinatoren oder in verantwortungsvollen Positionen der öffentlichen technischen Verwaltung. Er berechtigt ebenso zur Aufnahme in einen Promotionsstudiengang.

Im Zuge der immer fortschreitenden Globalisierung ist der Erwerb von internationaler Erfahrung eine wichtige Schlüsselkompetenz für die Studierenden. Um diese Erfahrung zu ermöglichen kann im Rahmen des Masterstudiums Elektro- und Informationstechnik an der Hochschule Karlsruhe ein Doppelabschluss mit einer ausländischen Hochschule erzielt werden. Für den anglo-amerikanischen Raum besteht ein Doppelabschlussprogramm mit der Toronto Metropolitan University (TMU) in Toronto, bei dem nach zwei Semestern Studium in Karlsruhe und zwei Semestern in Toronto die Masterabschlüsse beider Hochschulen erreicht werden. Für den frankophonen Raum besteht ein ähnliches Abkommen mit der INSA aus Strasbourg, das ebenfalls nach vier Semestern Studium zu einem deutschen und einem französischen Masterabschluss führt.

Der Masterstudiengang Elektrotechnik steht in- und ausländischen Studierenden mit einem überdurchschnittlich abgeschlossenen Bachelor- oder Diplomstudium im Fach Elektrotechnik oder einer verwandten Fachrichtung (z. B. Sensorsystemtechnik, Mechatronik, etc.) offen. Ein Teil der Vorlesungen wird nach vorheriger Ankündigung in englischer Sprache angeboten.

Während des Studiums können sich die Studierenden in einer der fünf Vertiefungsrichtungen spezialisieren:

- Informationstechnik
- Automatisierungstechnik
- Elektromobilität und Autonome Systeme
- Energietechnik und erneuerbare Energien
- Sensorsystemtechnik

Die Vertiefungsrichtung Informationstechnik vertieft die Aspekte der digitalen Verarbeitung von Information, der Informationsübertragung über Radiowellen bzw. Hochfrequenzsysteme, dem Entwurf integrierter Schaltungen sowie der Software-Verifikation.

In der Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik steht die Automatisierung von Industrieanlagen im Vordergrund. Themen sind hier die Steuer- und Regelungstechnik, Automatisierungssysteme und Robotik, Maschinelles Lernen, sowie Aspekte der Sicherheit und Qualitätssicherung.

Die Vertiefungsrichtung Energietechnik und erneuerbare Energien legt den Schwerpunkt auf die Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie. Es werden die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne, klassische Kraftwerke und die zur Anwendung kommenden elektrischen Maschinen, sowie die zur Verteilung erforderliche Hochspannungstechnik, die Netz- und Anlagentechnik und intelligente Netze betrachtet.

In der Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik werden die physikalischen, biologischen und chemischen Phänomene untersucht, die in der Konstruktion von Sensoren zur Anwendung kommen. Ergänzt werden sie durch Aspekte der Umwelttechnologie und der Mikrosystemtechnik.

Die Vertiefungsrichtung Elektromobilität und Autonome Systeme befasst sich mit Antriebs-, Steuerungs- und Speichertechnologien elektrischer Fahrzeuge. Da künftige Mobilität zunehmend durch autonome Systeme unterstützt wird, bilden Technologien für die erforderliche Sensorik sowie der Sensordatenverarbeitung einen weiteren Schwerpunkt.

Die Struktur des Masterstudiengangs ist in Abb. 1 dargestellt. Jede Vertiefungsrichtung umfasst einen Pflichtbereich im Umfang von 40 CP, einen Wahlbereich im Umfang von 20 CP und zum Ende des Studiums die Master-Thesis, die zusammen mit der Abschlussprüfung einen Umfang von 30 CP hat.

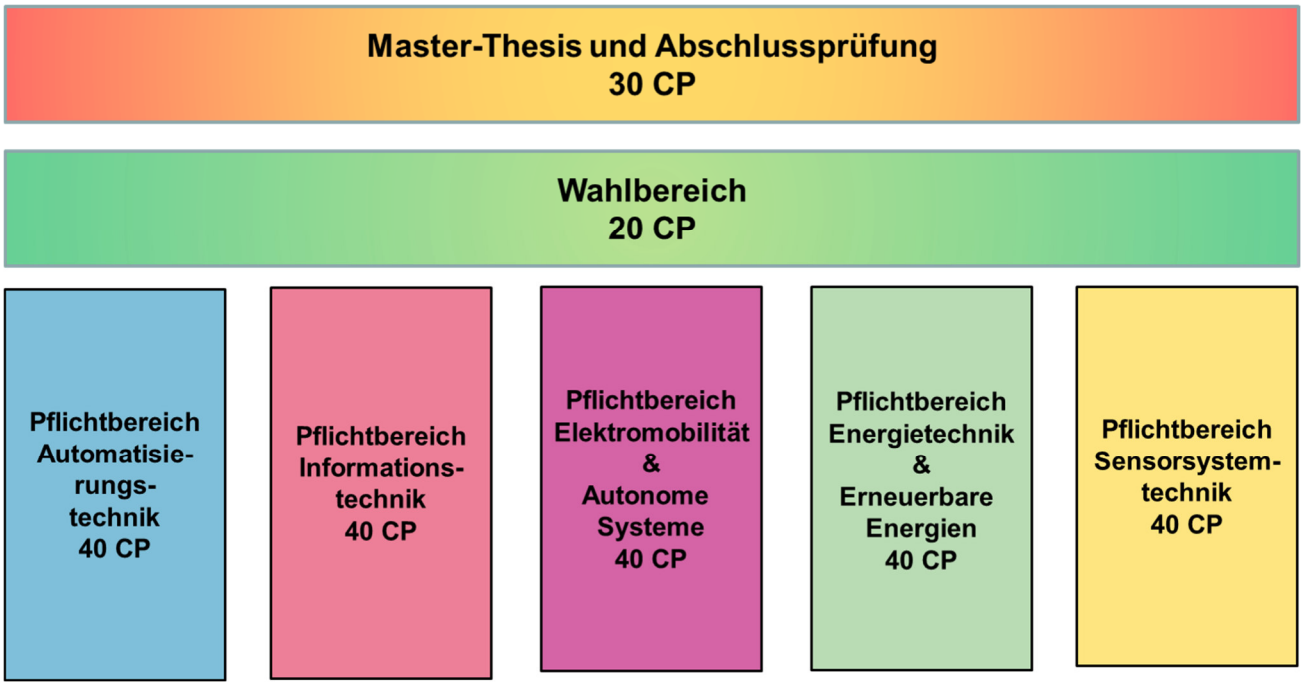


**Abbildung 1 Struktur des Masterstudiengangs**

Die Module des Wahlbereichs können aus den Modulen einer nicht gewählten Vertiefungsrichtung ausgewählt werden. Auf Antrag und nach vorheriger Genehmigung durch die Prüfungskommission können

im Wahlbereich auch maximal 2 Module aus anderen, verwandten Masterstudiengängen der Hochschule oder von anderen Hochschulen belegt werden. Pro Wahlmodul werden maximal 5 CP anerkannt.

Die in den Pflichtbereichen zu belegenden Module sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Module werden einzügig, wie angegeben im Wintersemester oder im Sommersemester angeboten. Die Prüfungen zu den Modulen können in jedem Semester abgelegt werden. Das Modul Wissenschaftliches Arbeiten, in dem ein Projekt bearbeitet wird, kann sowohl im Wintersemester als auch im Sommersemester durchgeführt werden.

Module mit einer englischen Modulbeschreibung können in englischer oder in deutscher Sprache angeboten werden. In der Regel werden sie auf Englisch angeboten. Diese Module sind auch für englischsprachige Studierende von den Partnerhochschulen in Kanada und den USA konzipiert. Die Unterrichtssprache wird rechtzeitig vor Semesterbeginn bekanntgegeben.

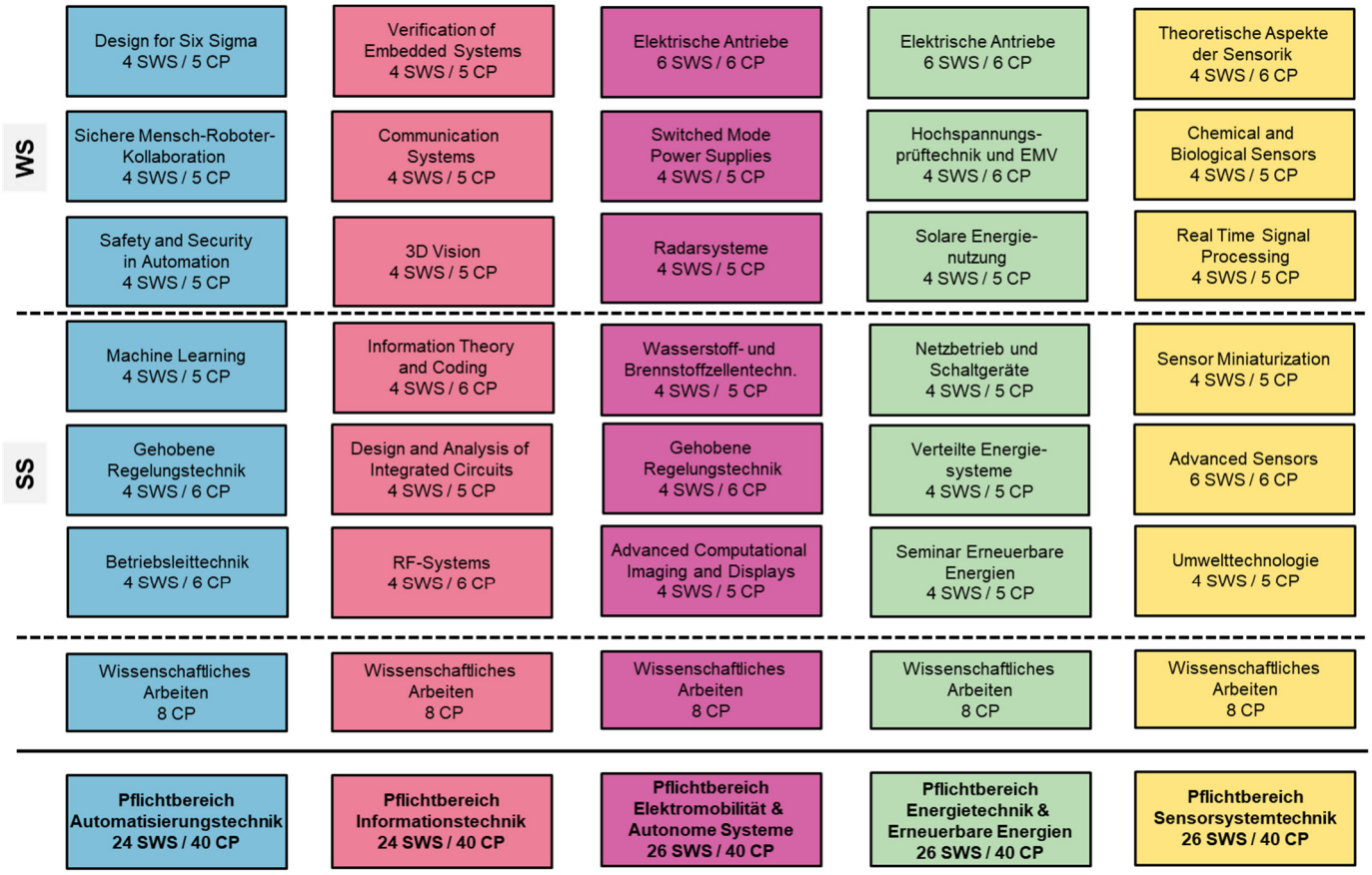


**Abbildung 2. Pflichtbereiche der fünf Vertiefungsrichtungen**

# 3 Module

## 3.1 Vertiefungsrichtung Informationstechnik

### 3.1.1 Verification of Embedded Systems

**Module title: Verification of Embedded Systems**

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 110I |
| Module coordinator: Prof. Dr. Bernard Schmidt |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: Knowledge in Programming of C/C++ or similar languages, nice to have: Knowledge in Microcontroller Programming, Digital Logic, Algorithm Theory |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* This module provides an introduction to verification, covering testing, static code analysis, and formal methods. It highlights the benefits and limitations of each verification approach. Industry-relevant formal verification techniques, such as Bounded Model Checking (BMC) and Abstract Interpretation, are introduced alongside the concept of symbolic representations. Additionally, the module offers an overview of relevant industrial safety norms and their connection to verification tasks.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students<br>• have a general understanding of verification methods, including testing, static code analysis, and formal methods<br>• are aware of the relevant safety norms that drive the need for verification<br>• have gained practical experience using an established verification tool<br>• understand the basic concepts of formal verification and symbolic representations<br>• are familiar with common algorithms and methods used in formal verification (e.g., Bounded Model Checking, Abstract Interpretation)<br>• are aware of the limitations of verification and be able to identify potential gaps<br>• have learned how to map verification tasks to appropriate algorithms and methods<br>• are capable of determining which verification approach is suitable for a given verification task |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (120 minutes) or an oral examination (20 minutes). The form of examination will be announced at the beginning of the semester. The lab part of the module is assessed by means of a written laboratory report. |

| **Course: Verification of Embedded Systems** |
|---|
| Module code: EITM 110I |
| Lecturer: Prof. Dr. Bernard Schmidt |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Overview of verification methods (Test, SCA, formal Methods)<br>• Overview of safety norms that refer to SW Verification (e.g., ISO26262 Chapter 6)<br>• Testing overview and covering metrics<br>• Symbolic representation of data values<br>• Path representation and coverage in code<br>• Bounded Model Checking<br>• Technologies behind BMC: SAT and SMT<br>• Abstract Interpretation<br>• Metrics for verification decisions (e.g., completeness, soundness) |
| Recommended reading:<br>Christian Haubelt, Jürgen Teich: *Digitale Hardware/Software-Systeme – Spezifikation und Verifikation*<br>Xavier Rival, Kwangkeun Yi: *Introduction to static analysis – an abstract interpretation perspective* |
| Comments: - |

| **Course: Verification of Embedded Systems Lab** |
|---|
| Module code: EITM 110I |
| Lecturer: Prof. Dr. Bernard Schmidt |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: laboratory; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Introduction in an industrial relevant verification tool<br>• Learning using formal methods on code<br>• Analyzing verification results and propose a correct fix (automatic properties)<br>• Writing verification properties in a given language |
| Recommended reading:<br>See above |
| Comments: - |

### 3.1.2 Communication Systems

## Module title: Communication Systems

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 120I |
| Module coordinator: Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: Knowledge in Systems Theory, Digital Signal Processing, and Digital Communications |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* The module provides theoretical background and practical knowledge on advanced schemes for adaptive signal processing algorithms in digital transmission systems as well as architectural principles and functional building blocks of modern digital transmitters / receivers.<br><br>*Competencies:* After having successfully completed the course, the students<br>• know principles and performance of advanced signal processing algorithms in modern digital communication systems like adaptive equalisation, optimum sequence detection, and multi-antenna processing<br>• understand the mathematical principles and the importance of adaptive optimisation for efficient digital signal transmission<br>• are able to apply these principles to adaptive systems like equalisers, smart antennas and adaptive MIMO-schemes<br>• understand the architectural principles and components of modern digital communication systems<br>• are able to design critical building blocks in the digital frontend of a communication device like filters, decimators / interpolators, and converters<br>• can assess and quantify the computational complexity of these functional building blocks<br>• know the motivation and the background of software-defined radios and the roads towards their realisation in actual communication systems |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (100 minutes) or an oral examination (20 minutes). The form of examination will be announced at the beginning of the semester |

| **Course: Architecture of Communication Systems** |
|---|
| Module code: EITM 121I |
| Lecturer: Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |

| |
|---|
| Content:<br>• Transmitter- and receiver architectures, digital frontends<br>• Digital down- and up- conversion<br>• Multi-rate signal processing<br>• Direct digital synthesis (DDS)<br>• A/D- and D/A- converters in communication systems<br>• Software Defined Radio |
| Recommended reading:<br>F. Harris: *Multirate Signal Processing for Communication Systems*, Prentice-Hall<br>J. Reed: *Software Radios. A modern approach to Radio Engineering*, Prentice Hall<br>J. Mitola: *Software Radio Architecture*, Wiley<br>A. Oppenheim, R. Schafer, J. Buck: *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice-Hall<br>J. Proakis: *Digital Communications*, McGraw Hill, New York<br>K. D. Kammeyer: *Nachrichtenübertragung*, Teubner, Stuttgart<br>Data Sheets and Application Notes of current integrated circuits for digital communication systems |
| Comments: - |

| **Course: Signal Processing in Communication Systems** |
|---|
| Module code: EITM 122I |
| Lecturer: Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Adaptive filters und equalisation<br>• Maximum-likelihood detection<br>• Channel estimation / System identification<br>• Multi - antenna algorithms (smart antennas, beamforming, MIMO-schemes) |
| Recommended reading:<br>S. Haykin: *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall<br>A. Oppenheim, R. Schafer, J. Buck: *Discrete-Time Signal Processing*, Prentice-Hall<br>J. Proakis: *Digital Communications*, McGraw Hill, New York<br>K. D. Kammeyer: *Nachrichtenübertragung*, Teubner, Stuttgart<br>D. Tse, P. Viswanath: *Fundamentals of Wireless Communication*, Cambridge University Press |
| Comments: - |

### 3.1.3 3D Vision

| Module title: 3D Vision |
|---|

| Module summary |
|---|
| Module code: EITM 130I |
| Module coordinator: Prof. Dr. Niclas Zeller |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: Undergraduate Mathematics |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* The module provides an introduction into the topic of 3D Computer Vision especially with a focus on Structure from Motion (SfM) and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). Such method find application in many modern technologies including mobile robots, autonomous driving or Augmented and Virtual Reality.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students<br>• know the concept of using cameras and other sensors to reconstruct the 3D environment as well as to estimate the motion of the sensor<br>• can geometrically model different types of cameras using standard pinhole camera and distortion models<br>• can geometrically describe 3D scenes as well as the transformation between different coordinate frames using linear algebra<br>• understand the concept of different parametrizations of 3D transformations, including Euler angles, Quaternions, Lie-Algebra<br>• understand how to solve large scale optimization problem using Gauss-Newton-Optimization<br>• can assess different Algorithms for Structure from Motion (SfM) and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (90 minutes) or an oral examination (20 minutes).<br>The form of examination will be announced at the beginning of the semester |

| Course: 3D Vision |
|---|
| Module code: EITM 130I |
| Lecturer: Prof. Dr. Niclas Zeller |
| Hours/week: 4 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content: |

| |
|---|
| • Image formation and camera models (pinhole camera and lens distortion models)<br>• Extrinsic and intrinsic parameters<br>• Different types of cameras (monocular, stereo, RGB-D)<br>• Homogeneous coordinates<br>• Transformation in 3D space and different parametrizations (Euler angles, Quaternions, Lie-Algebra)<br>• Concept of Structure from Motion (SfM) and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)<br>• Probabilistic state estimation<br>• Two-view Geometry (Fundamental and Essential matrix, Eight-Point-Algorithm, Perspective-n-Points, Stereo-Triangulation)<br>• Keypoint extraction<br>• Direct and Indirect SLAM<br>• Multiple-View-Geometry<br>• Bundle Adjustment Problem<br>• Gauss-Newton and Levenberg- Marquardt optimization<br>• Place Recognition and Loop Closure<br>• Pose Graph Optimization<br>• Introduction Deep-Learning-based dense 3D reconstruction |
| Recommended reading:<br>Y. Ma, S. Soatto, J. Kosecká, S. Sastry: *An Invitation to 3D Vision: From Images to Geometric Models*; Springer<br>R. Hartley, A. Zisserman: *Multiple View Geometry in Computer Vision*; Cambrige |
| Comments: - |

### 3.1.4 Information Theory and Coding

| **Module title: Information Theory and Coding** |
|---|

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 210I |
| Module coordinator: Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Credits (ECTS): 6 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: Knowledge in Systems Theory and Linear Algebra |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* This module provides the information-theoretical foundations of systems for data transmission and storage. The two theorems of Claude Shannon serve as the starting point to a precise mathematical description of information, source and channel coding.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion,<br>• the students know the most important source coding procedures<br>• the students know the most widely used channel coding procedures<br>• the students are able to design codes suited for given communication channels<br>• the students are able to implement decoding algorithms<br>• the students are able to analyse communication links from information-theoretical point of view<br>• the students are able to assess the impact of coding on communication links<br>• the students have expanded their mathematical abilities to finite fields |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (90 minutes) or an oral examination (20 minutes). The form of examination will be announced at the beginning of the semester |

| **Course: Information Theory and Coding** |
|---|
| Module code: EITM 210I |
| Lecturer: Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Hours/week: 4 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• information, entropy<br>• source coding: arithmetic code and Huffman-code<br>• discrete channel models<br>• channel capacity, Shannon's theorems, Shannon-Hartley-channel-capacity<br>• bandwidth efficiency, error probability |

| |
|---|
| • Galois-fields and extension fields<br>• design, coding and decoding of Reed-Solomon-codes<br>• design, coding and decoding of BCH-codes<br>• analysis coding and decoding of convolutional codes<br>• code concatenation and interleaving<br>• generalized code concatenation and coded modulation |
| Recommended reading:<br>M. Bossert: *Kanalcodierung,* Oldenbourg, München<br>B. Friedrichs: *Kanalcodierung*, Springer<br>W. Ryan, S. Lin: *Channel Codes: Classical and modern,* Cambridge University Press<br>S. Lin, D. Costello: *Error Control Coding, Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall<br>B. Sklar: *Digital Communications, Fundamentals and Applications*, Prentice Hall |
| Comments: - |

### 3.1.5 Design and Analysis of Integrated Circuits

## Module title: Design and Analysis of Integrated Circuits

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 220I |
| Module coordinator: Prof. Dr. Herman Jallli Ng |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: Electronics, high-frequency techniques |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* The module imparts knowledge of semiconductor technologies, microelectronics circuits, advanced transistor-level design techniques, integrated circuit building blocks and transceiver architectures. Critical design parameters of the integrated circuit building blocks are discussed and the optimization methods are introduced. Examples of highly integrated transceivers, high-frequency systems, various fully-integrated building blocks on transistor-level are presented in this module.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion the students,<br>• learn about modern semiconductor technologies that enable the implementation of highly integrated circuits<br>• become highly proficient in advanced circuit techniques and high-frequency basics<br>• are able to design and analyze various integrated circuit blocks using transistors and other semiconductor devices<br>• know how to calculate all design parameters of the circuits<br>• are able to optimize the performance of circuit blocks regarding gain, noise, stability, dynamic range, efficiency and total power consumption |
| Assessment:<br>Assessment is done by a written exam (120 minutes). |

| **Course: Design and Analysis of Analog ICs** |
|---|
| Module code: EITM 221I |
| Lecturer: Prof. Dr. Herman Jalli Ng |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Advanced Circuit Techniques<br>• Review of Amplifiers<br>• Frequency Response of Amplifiers |

| |
|---|
| • Noise<br>• Feedback<br>• Operational amplifiers<br>• Oscillators<br>• Phase-Locked Loops |
| Recommended reading:<br>Razavi B.: *Design of Analog CMOS Integrated Circuits*, McGraw Hill Education, 2015<br>Baker R.J.: *CMOS Circuit Design, Layout and Simulation*, Wiley-IEEE, 2010 |
| Comments: - |

| **Course: Design and Analysis of RF ICs** |
|---|
| Module code: EITM 222I |
| Lecturer: Prof. Dr. Herman Jalli Ng |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Transceiver Architectures<br>• High-Frequency Devices<br>• S-Parameters and Impedance Matching<br>• Low-Noise Amplifiers<br>• Power Amplifiers<br>• Mixers<br>• Voltage-Controlled Oscillator |
| Recommended reading:<br>Voinigescu S.: *High-Frequency Integrated Circuits, The Cambridge RF and Microwave Engineering Series*, 1st edition<br>Razavi B.: *RF Microelectronics*, Prentice Hall<br>Ellinger F.: *Radio Frequency Integrated Circuits and Technologies*, Springer |
| Comments: - |

### 3.1.6 RF Systems

| Module title: RF Systems |
|---|

| Module summary |
|---|
| Module code: EITM 230I |
| Module coordinator: Prof. Dr. Serdal Ayhan |
| Credits (ECTS): 6 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: RF-Technique, Semiconductors |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* The knowledge imparted in this course regarding high-frequency components, transceiver architectures, and measurement methods can be effectively combined with other modules such as Antenna Technology, Signal Processing, or Measurement Technology. Through its practical laboratory component, the module also promotes application-oriented learning and complements theoretical lectures, supporting project-based work in internships or final thesis projects.<br><br>*Competencies:* After successful completion of the module, students will have acquired the following competencies:<br>• the students review and consolidate the essential fundamentals of radio frequency (RF) engineering.<br>• the students understand the properties and operating principles of key RF-components such as filters, couplers, amplifiers, mixers, and oscillators.<br>• the students are able to design, simulate, and experimentally characterize passive components based on microstrip lines.<br>• the students can systematically analyze typical influences of hardware, such as noise and nonlinearities, and assess their impact on overall system performance.<br>• the students understand various transceiver architectures, their structure, and their specific advantages and disadvantages in RF-systems like Communication Systems and Radar Systems. |
| Assessment:<br>The assessment consists of a written exam (90 minutes) and a written lab report. |

| Course: RF Systems |
|---|
| Module code: EITM 231I |
| Lecturer: Prof. Dr. Serdal Ayhan |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |

| |
|---|
| Content:<br><br>• Review of fundamental principles of RF-technology, transmission line theory, impedance matching and reflection, scattering parameters (S-parameters), Smith chart, microstrip lines<br>• Introduction to and advanced study of RF components<br>• Characteristics, applications and design of filters and couplers; even-odd analysis<br>• Characteristics and applications of amplifiers, mixers and oscillators<br>• Noise in RF systems, analysis and reduction techniques; noise figure, noise temperature, Signal-to-Noise Ratio (SNR), cascaded noise figure and noise temperature calculation, phase noise<br>• Nonlinearities and their impact on overall system performance; non-linear small signal theory, compression point, harmonics, 2nd order and 3rd order intercept-point, calculation of intercept points<br>• Mixer stages, ideal and non-ideal behaviour of mixers, intermodulation in mixer stages<br>• Principles of Phase-Locked Loop (PLL) based signal generation<br>• Transceiver architectures, direct conversion receivers, heterodyne receivers, and direct mixers |
| Recommended reading:<br>Gustrau, F.; *Hochfrequenztechnik / Grundlagen der mobilen Kommunikationstechnik*, Carl Hanser Verlag,<br>Pozar, D. M.: *Microwave Engineering*, Wiley<br>Hiebel, M.: *Grundlagen der vektoriellen Netzwerkanalyse*, Rohde & Schwarz GmbH, München<br>Rauscher, C.; *Grundlagen der Spektrumanalyse*, Rohde & Schwarz GmbH, München<br>Thumm M., Wiesbeck W., Kern S.: *Hochfrequenzmesstechnik / Verfahren und Messsysteme*, Teubner-Verlag |
| Comments: - |

| **Course: RF Instrumentation** |
|---|
| Module code: EITM 232I |
| Lecturer: Prof. Dr. Serdal Ayhan |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture and lab; mandatory in the study field Information technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Spectrum analyzer: operating principle and practical usage<br>• RF signal generators: operating principle and practical usage<br>• Network analyzer: operating principle, practical usage, and emphasizing the calibration process<br>• RF simulation: matching of two ports, Smith-chart, and design/implementation of microstrip filters and couplers<br>• Practical measurement exercises with a network analyzer (filters and couplers)<br>• Practical measurement exercises with a spectrum analyzer (amplifiers, mixers) |
| Recommended reading: See above |
| Comments: - |

# 3.2 Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik

## 3.2.1 Design for Six Sigma

**Module title: Design for Six Sigma**

| **Modulübersicht** |
|---|
| Module code: EITM 110A |
| Module coordinator: Prof. Dr. Manfred Strohrmann |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regards to content: Undergraduate mathematics, statistics skills |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* The module presents interdisciplinary methods for product engineering. With these methods tolerances and finishing yield can be predicted. The introduced Machine Learning algorithms can be applied to improve yield and quality.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students<br>• are able to solve univariate problems, in particular to determine prediction and confidence intervals and perform hypothesis tests.<br>• are able to perform correlation and variance analyses<br>• are able to set up and evaluate multivariate regression functions<br>• are familiar with DFSS methods such as measurement system analysis, statistical process control, design of experiments, statistical simulation and statistical tolerancing to specific manufacturing to specific manufacturing processes and perform them successfully<br>• know Machine Learning methods and their application in quality management |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (180 minutes) or an oral examination (20 minutes). The form of examination will be announced at the beginning of the semester |

| **Course: Design for Six Sigma** |
|---|
| Module code: EITM 110A |
| Lecturer: Prof. Dr. Manfred Strohrmann |
| Hours/week: 4 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: lecture with assignments; mandatory in the study field Automation, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>• Univariate probability theory, descriptive and inductive<br>• Multivariate probability theory, descriptive and inductive<br>• Correlation analysis<br>• Analysis of variance |

| |
|---|
| • Regression analysis<br>• Measurement System Analysis<br>• Statistical Process Control<br>• Statistical Design of Experiments<br>• Statistical Simulation<br>• Statistical Tolerance<br>• Machine Learning in Quality Management |
| Recommended reading:<br>Strohrmann, M.: *Design For Six Sigma*, https://www.eit.hs-karlsruhe.de/dfss |
| Comments: - |

### 3.2.2 Sichere Mensch-Roboter Kollaboration

## Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 120A |
| Modulverantwortlicher: Prof. Dr. Daniel Braun |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Robotik, Automatisierungstechnik hilfreich, Safety and Security in Automation hilfreich |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Ziel des Moduls ist es, ein Verständnis für die speziellen Herausforderungen der kollaborativen Robotik zu erreichen. Darauf aufbauend sollen die Studierenden in die Lage versetzt werden, bestehende Roboterapplikationen bezüglich Mensch-Roboter-Kollaboration zu bewerten und ggf. geeignete Sicherheitsmaßnahmen vorzuschlagen. Dazu gehört neben einer Kenntnis der relevanten Vorschriften und Normen auch die Durchführung von Risikominderungsverfahren, sowie die Anwendungen von Berechnungsvorschriften für die Ermittlung von sicheren Grenzwerten bei der physikalischen Mensch-Roboter-Kollaboration. Mit dem erfolgreichen Abschluss des Moduls ist auch die praktische Anwendung der theoretischen Kenntnisse auf verschiedene Aufgabenstellungen verbunden.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls<br>• sind die Studierenden mit den verschiedenen Ausprägungen der Mensch-Roboter-Kollaboration vertraut<br>• kennen die Studierenden die typischen Herausforderungen bei kollaborierenden Robotersystemen<br>• kennen die Studierenden die relevanten Normen und Vorschriften für den Einsatz von Systemen mit Mensch-Roboter-Kollaboration<br>• sind die Studierenden in der Lage, eine Gefährdungsanalyse für bestehende Systeme zu erstellen und passende Maßnahmen für einen sicheren Betrieb in Kollaboration vorzuschlagen<br>• sind die Studierenden mit verschiedenen externen und Roboter-integrierten Lösungen zur Absicherung von kollaborierenden Robotern vertraut und kennen deren Eigenschaften im Einsatz<br>• können die Studierenden ein Sicherheitskonzept für bestehende Roboterapplikationen analysieren und praktisch umsetzen<br>• haben die Studierenden Roboterapplikationen mit Kraft-Moment-Regelung und Sicherheitsfunktionalitäten umgesetzt |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. Der Laborteil des Moduls wird mit anhand einer schriftlichen Laborarbeit bewertet. |

| |
|---|
| The lab part of the module is assessed by means of a written laboratory report. |

| **Lehrveranstaltung: Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 121A |
| Dozent/in: Prof. Dr. Daniel Braun |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Einführung: Automatisierung mit Robotern und Mensch-Roboter-Kollaboration<br>• Anforderungen an kollaborierende Robotersysteme<br>• Betriebsgefahren beim Umgang mit Robotern<br>• Relevante Vorschriften und Normen<br>• Sicherheitsbetrachtung von Robotersystemen<br>• Externe Absicherung von Mensch-Roboter-Kollaboration<br>• Ansätze für spezielle MRK-Roboter und Lösungen |
| Empfohlene Literatur:<br>Siciliano, B.; Khatib, O. *Handbook of Robotics*, Springer<br>Behrens, R.: *Biomechanische Grenzwerte für die sichere Mensch-Roboter-Kollaboration*, Springer<br>Müller R.; Franke J. et al.: *Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration*, Hanser Fachbuch |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Labor kollaborative Robotersysteme** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 122A |
| Dozent/in: Prof. Dr. Daniel Braun |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Labor;<br>Wahlmodul für alle Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Analyse der Sicherheitssysteme in bestehenden Roboterapplikationen<br>• Risikoanalyse und Vorschlang von Maßnahmen für Roboterapplikation mit verschiedenen Graden von Mensch-Roboter-Kollaboration<br>• Erstellung und Evaluierung von Sicherheitskonfigurationen für Robotersysteme<br>• Erstellung von Kraft-/Moment-geregelten Roboterapplikationen<br>• Verwendung von umschaltbaren Kraft- und Momentüberwachungsfunktionen<br>• Risikoanalyse und Dokumentation einer der erstellten Lösung |
| Empfohlene Literatur: *siehe zugehörige Vorlesung* |
| Anmerkungen: - |

### 3.2.3 Safety and Security in Automation

## Modulname: Safety and Security in Automation

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 130A |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr.-Ing. Dirk Feßler |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Automatisierungstechnik, Wahrscheinlichkeitstheorie, Digitale Signalverarbeitung |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Ziel des Moduls ist es zum einen, das Verständnis für die "Funktionale Sicherheit (FuSi)" zu wecken und Schutz vor Gefährdung durch inkorrekte Funktionen zu erreichen, zum anderen die Gefährdungslage in der globalen Datenkommunikation zu vermitteln und Strategien zur Vermeidung von Sicherheitslücken aufzuzeigen.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• sind die Studierenden vertraut mit den Begriffen Sicherheit, Safety sowie Security, können diese unterscheiden und auftretende Fragestellungen den verschiedenen Themengebieten zuordnen<br>• sind den Studierenden die relevanten Vorschriften und europäischen Sicherheits-Richtlinien sowie die heutigen Strategien der Sicherheitstechnik bekannt<br>• kennen die Studierenden die Norm IEC 61508<br>• haben sich die Studierenden mit den Methoden der Gefahrenanalyse, wie beispielsweise der FEMA oder FTA, auseinandergesetzt<br>• können die Studierenden die Methoden der Risikoanalyse anwenden<br>• sind die Studierenden in der Lage, den Sicherheits-Integritätslevel (SIL) nach IEC 61508 zu bestimmen<br>• lernen die Studierenden die verschiedenen Sicherheitssystemarchitekturen bzw. -strukturen und -diversitäten aufgrund eventueller Common Cause Failures (CCF) kennen<br>• können die Studierenden für vorgegebene Anlagenstrukturen die Hardware-Fault-Tolerance (HFT) ermitteln<br>• sind die Studierenden in der Lage, Sicherheitskenngrößen, wie beispielsweise Ausfallrate λ, Safe Failure Fraction (SFF), Diagnostic Coverage (DC), Probability of dangerous Failure on Demand (PFD) sowie Probability of dangerous Failure per Hour (PFH), zu berechnen<br>• kennen die Studierenden die Safety-Requirements-Specification für sichere Software-Entwicklung<br>• sind die Studierenden mit den heutigen Architekturen und verwendeten Kommunikationsprotokollen in der Automatisierungstechnik vertraut<br>• haben sich die Studierenden mit der Problematik Sicherheit von Produktionsanlagen und den aktuell umgesetzten Sicherheitsarchitekturen auseinandergesetzt<br>• sind die Studierenden in der Lage, Schwachstellen in einer Automatisierungsanlage zu bewerten und Maßnahmen für zusätzliche Security zu erarbeiten<br>• lernen die Studierenden verschiedene Verschlüsselungsmethoden kennen und beurteilen |

| |
|---|
| • sind die Studierenden mit verschiedenen Netzwerkprotokollen vertraut und können deren Einfluss auf Sicherheit bewerten<br>• haben sich die Studierenden mit verschieden Firewall- und Hardware-Technologien beschäftigt<br>• kennen die Studierenden unterschiedliche Methoden zur Absicherung der „Security-Qualität“ in der Entwicklung und im Test. |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. |

| **Lehrveranstaltung: Safety in Automation** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 131A |
| Dozent/in: Prof. Dr.-Ing. Dirk Feßler |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für die Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Begriffsbestimmungen zur Funktionalen Sicherheit (FuSi)<br>• Aufgaben von Berufsgenossenschaften und TÜV<br>• Gesetze, Richtlinien und Normen<br>• neue Normenlandschaft: IEC 61508<br>• Sicherheits-Lebenszyklus für Hard- und Software<br>• Gefahren- bzw. Risikoanalyse und Risikominderung nach SIL<br>• Sicherheitsbezogene Steuerungen<br>• Strukturen und Hardware Fault Tolerance (HFT)<br>• Fehler-Klassifizierung<br>• Ausfallraten und Quantifizierung<br>• Safe Failure Fraction (SFF) und Diagnostic Coverage (DC)<br>• Probability of dangerous Failure on Demand (PFD) und Probability of dangerous Failure per Hour (PFH) |
| Empfohlene Literatur:<br>Wratil, P.; Kieviet, M.: *„Sicherheitstechnik für Komponenten und Systeme”*, VDE-Verlag<br>Börcsök, J.: *„Funktionale Sicherheit”*, VDE-Verlag |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Security in Automation** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 132A |
| Dozent/in: Dipl.-Ing. Jürgen Bieber |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für die Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs |
| Lehrsprache: Deutsch |

| |
|---|
| Inhalte:<br>• Stand der Normung, Gremien<br>• Netzwerk-Grundlagen in der Automatisierungstechnik<br>• Client/Server-Konzepte<br>• Sicherheitsarchitektur in der Automatisierung<br>• Defense in Depth-Strategie<br>• Physikalische / Organisatorische Security<br>• Netzwerkprotokolle und Firewalls<br>• Sichere Kommunikation über ein unsicheres Netzwerk<br>• Verschlüsselungsmethoden / Cypher Techniken<br>• Qualitäts- und Testkonzepte für Security in der Software-Entwicklung |
| Empfohlene Literatur:<br>Anderson, Ross J.: *„Security Engineering"*, John Wiley&Sons<br>Boudriga, N.; Hamdi, M.: *„Security Engineering Techniques and Solutions for Information Systems"*, Idea Group Reference |
| Anmerkungen: - |

### 3.2.4 Machine Learning

## Modulname: Machine Learning

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 210A |
| Module coordinator: Dr.-Ing Kawther Aboalam |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regards to content: Undergraduate mathematics, fundamental statistical skills |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* The module presents the core concepts and algorithms of machine learning, emphasizing their practical applications. The introduced machine learning algorithms, combined with Six Sigma methodologies, can be applied to enhance various scenarios in production and medical engineering.<br><br>*Competencies:* By the end of this course, participants will be proficient in the following areas:<br>- Data Preprocessing and Feature Engineering: Understand and apply various data preprocessing techniques, including handling missing values, scaling, and performing feature engineering.<br>- Model Selection, Building, Training, and Validation: Select appropriate machine learning models for different types of problems, including regression, classification, and clustering<br>- Hyperparameter Tuning: Conduct hyperparameter tuning to improve model accuracy and efficiency.<br>- Neural Networks and Deep Learning: Be familiar with the concepts and architectures of feedforward neural networks, backpropagation and optimization methods such as gradient descent and its variants.<br>- Machine Learning Frameworks: Use popular machine learning frameworks in Python, such as scikit-learn and TensorFlow.<br>- Research in Machine Learning Applications: Conduct research to explore and apply machine learning techniques to real-world production environments. |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (180 minutes) or an oral examination (20 minutes). The form of examination will be announced at the beginning of the semester. The lab part of the module is assessed by means of a written laboratory report. |

| **Course: Machine Learning** |
|---|
| Module code: EITM 211A |
| Lecturer: Dr.-Ing. Kawther Aboalam |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Automation, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content: |

| |
|---|
| • Data preparation and feature engineering<br>• Supervised Learning (linear regression, classification)<br>• Unsupervised Learning (Clustering and dimensionality reduction)<br>• Model selection using grid search optimization and K-Folds cross-validation<br>• Building data pipelines using sci-kit learn pipelines concept<br>• Feedforward neural networks and backpropagation-based optimization |
| Recommended reading:<br>Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, Robert Tibshirani: *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in python*. New York: Springer<br>Zhang, Aston, et al. *Dive into deep learning.* arXiv preprint arXiv:2106.11342 |
| Comments: - |

| **Course: Machine Learning Lab** |
|---|
| Module code: EITM 212A |
| Lecturer: Dr.-Ing. Kawther Aboalam |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: laboratory; mandatory in the study field Automation, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>Assignments in Python on the topics discussed during the machine learning lecture, such as:<br>• Data preparation and feature engineering<br>• Regression tasks<br>• Classification tasks<br>• Clustering tasks<br>• Neural networks |
| Recommended reading:<br>Raschka, S., & Mirjalili, V.: *Python Machine Learning (3rd ed.)*. O'Reilly Media |
| Comments: - |

### 3.2.5 Gehobene Regelungstechnik

| **Modulname: Gehobene Regelungstechnik** |
|---|

| **Module summary** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 220A, EITM 220M |
| Modulverantwortlicher: Prof. Dr. Dirk Feßler |
| Modulumfang (ECTS): 6 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Klassische Regelungstechnik, Digitale Signalverarbeitung |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernziele und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Das Modul bietet eine vertiefte Ausbildung im Bereich der Regelungstechnik, wobei moderne gehobene theoretische Entwicklungen und deren praktische Anwendung im Vordergrund stehen. Der Kurs vermittelt ein fundiertes grundlegendes Verständnis von Rückkopplungssystemen und befähigt die Studierenden, moderne gehobene Regelungsprinzipien in verschiedenen Industriebereichen anzuwenden.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• verstehen die Studierenden die Grenzen der klassischen Regelungstechnik und sind in der Lage, klassische Regelungskonzepte mit moderner Regelungstheorie zu kombinieren,<br>• sind die Studierenden in der Lage, digitale Regelungssysteme zu analysieren und zu entwerfen,<br>• kennen die Studierenden die Theorie moderner gehobener Zustandsraum-Methoden und können diese auf reale Prozesse anwenden,<br>• sind die Studierenden in der Lage, mit der Komplexität verteilter Mehrgrößensysteme umzugehen,<br>• haben die Studierenden ihre Fähigkeiten zur Abstraktion und Modellierung realer Prozesse erweitert. |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 90 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. |

| **Course: Advanced Control** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 220A |
| Dozenz: Prof. Dr. Dirk Feßler |
| Umfang (SWS): 4 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalt: |

- Grundlegende Grenzen von Rückkopplungssystemen: Sensitivität und komplementäre Sensitivität, Bode-Gleichgewichtstheorem, Wasserbetteffekt
- Robustheitsanalyse von Anlagen mit begrenzten Unsicherheiten
- Erweiterungen der Standard-PID-Regelkreise: Regler mit zwei Freiheitsgraden, Notch-Filter im Regelkreis, Gain Scheduling, Auto-Tuning von PID-Reglern
- Industrielle Regelungen: Vorfilter, Vorsteuerung, Störgrößenkonstanthaltung, Störgrößenaufschaltung, Hilfsregelgrößenaufschaltung und Kaskadenregelung
- Digitale Regelung: Abtastung und Rekonstruktion von Signalen, Methoden der kontinuierlich-zu-diskret Umwandlung, insbesondere BLT mit Prewarping, digitale Neugestaltung von kontinuierlichen Reglern, Dead-Beat-Regler
- Modellierung für die Regelung: Prinzipien der Modellierung kontinuierlicher Systeme, Zustandsraumdarstellung (linear) MIMO-Systeme, kanonische Normalformen und Äquivalenztransformationen
- Entwurf Modell(-basierte) prädiktiver Regler
- Moderne Regelungstheorie: Steuerbarkeit, Beobachtbarkeit, Kalman-Zerlegung, Polvorgabe, Zustandsrückkopplung mit Integralwirkung, Luenberger-Beobachter, LQR/LQG
- Ausgewählte Themen der nichtlinearen Regelung: Nulldynamik, exakte Rückkopplungslinearisierung, flachheitsbasierte Prozessinversion
- Regelung großer verteilter Systeme: Balancierte Realisierung, Modellreduktion, Entwurf von Reglern reduzierter Ordnung, dezentrale Regelung
- Regelungsverfahren mit neuronalen Netzen und Fuzzy-Logik

Empfohlene Literatur:

A. Braun: *Grundlagen der Regelungstechnik: Kontinuierliche und diskrete Systeme*, Fachbuchverlag Leipzig

B.C. Kuo: *Automatic Control Systems*, 9rd Edition, Prentice Hall, New Jersey

H. Unbehauen: *Regelungstechnik II: Zustandsregelungen, digitale und nichtlineare Regelsysteme*, Vieweg

H. Unbehauen: *Regelungstechnik III: Identifikation, Adaption, Optimierung*, Vieweg

W. Büttner: *Digitale Regelungssysteme: Grundlagen zum Systementwurf*, Vieweg

J. Lunze: *Automatisierungstechnik: Methoden für die Überwachung und Steuerung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme*, Oldenbourg

Slotine and Li: *Applied Nonlinear Control*, Prentice Hall, New Jersey, ISBN 0-13-040890-5

Hoffmann und Brunner: *MATLAB & Tools für die Simulation dynamischer Systeme*, Addison-Wesley, München

U. Brunner: *Einführung in die Modellbildung und Simulation ereignisgetriebener Systeme mit Stateflow*, Grin-Verlag, (v129403)

Anmerkungen: -

### 3.2.6 Betriebsleittechnik

## Modulname: Betriebsleittechnik

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 230A |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Philipp Nenninger |
| Modulumfang (ECTS): 6 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: gute Kenntnisse der Automatisierungstechnik |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Ziel des Moduls ist die Erweiterung von automatisierungstechnischen Kenntnissen in Richtung vertikaler und horizontaler Integrationsprozesse der Produktionsautomatisierung.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• verstehen die Studierenden die Begrifflichkeiten und die Anforderungen des derzeit ablaufenden Paradigmenwechsels in der Produktionsautomatisierung<br>• sind die Studenten in der Lage, Informationsflüsse einer Anlage mit Kommunikations-Technologien zu konzipieren und auch praktisch zu realisieren<br>• kennen die Studierenden grundlegende Funktionen eines Manufacturing-Executions-Systems<br>• sind die Studenten in der Lage, diskrete, kontinuierliche sowie Chargenprozesse zu modellieren und automatisieren<br>• sind die Studierenden in der Lage, Produktionsplanungswerkzeuge einzusetzen |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. |

| **Lehrveranstaltung: Integrierte Produktionsautomatisierung** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 231A |
| Dozent/in: Prof. Dr. Philipp Nenninger |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Terminologie nach IEC 62264<br>• Integrationstechnologien: OPC, DCOM, ActiveX<br>• Schnittstellen und Integration von Prozessleitsystemen und Fertigungsleitsystemen<br>• Komponentenorientierte Fertigungsleitsysteme<br>• Agentenorientierte Fertigungsleitsysteme |

| |
|---|
| Empfohlene Literatur:<br>Früh, K.; Schaudel, D.; Urbas, L.: Tauchnitz, T.: *Handbuch der Prozessautomatisierung*, VDE-Verlag<br>Schuler, H.; Birk, J.; Fischer, M.: *Prozessführung,* Oldenbourg |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Produktionsplanung und -steuerung** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 232A |
| Dozent/in: Prof. Dr. Philipp Nenninger |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Automatisierungstechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Produktionsplanung<br>• Modellierung und Steuerung von Chargenprozessen<br>• Rezeptfahrweisen<br>• Modellierung und Regelung von kontinuierlichen Prozessen<br>• Modellierung und Regelung von diskreten Prozessen<br>• Materialfluss-Steuerung<br>• Simulation und Optimierung des Produktionsbetriebes<br>• Produktionsrelevante Aspekte hinsichtlich Nachhaltigkeit und Qualitätssicherung<br>• Warteschlangentheorie, Scheduling |
| Empfohlene Literatur: siehe oben |
| Anmerkungen: - |

# 3.3 Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien

## 3.3.1 Elektrische Antriebe

**Modulname: Elektrische Antriebe**

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 110E, EITM 110M |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Thomas Köller |
| Modulumfang (ECTS): 6 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Elektrische Maschinen, Leistungselektronik, Regelungstechnik |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Ziel des Moduls ist die Wissensvermittlung in den Bereichen Projektierung elektrischer Antriebe und Regelung elektrischer Antriebe.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• sind die Studierenden in der Lage Antriebssysteme zu projektieren<br>• können die Studierenden Gebersysteme für Ihre Applikation auswählen und kennen die Stärken und Schwächen des gewählten Systems<br>• sind die Studierenden in der Lage regelungstechnische Verfahren im Bereich der Antriebstechnik anzuwenden und weiterzuentwickeln<br>• können die Studierenden Frequenzumrichter für die Antriebstechnik parametrieren<br>• kennen die Studierenden Detailprobleme des Stromregelkreises hinsichtlich der Abtastung<br>• entwickeln die Studierenden Lösungen zu den Detailproblemen des Drehzahlregelkreises |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. |

| **Lehrveranstaltung: Elektrische Antriebe** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 110E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Thomas Köller |
| Umfang (SWS): 6 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Grundlagen der Bahnplanung<br>• Getriebe |

| |
|---|
| • Erwärmung und Kühlung<br>• Projektierung von Antriebssystemen<br>• Reglerauslegung mit dem Schwerpunkt „Elektrische Antriebe“ (Symmetrisches Optimum, Betragsoptimum)<br>• Relevante Regelkreisstrukturen für die Antriebstechnik<br>• Dynamisches Verhalten der Gleichstrommaschine<br>• Regelung von Drehfeldantrieben mit dem Schwerpunkt „permanentmagneterregte Synchronmaschine“<br>• Vertiefung Raumzeigertheorie / Symmetrische Komponenten<br>• Dynamisches Verhalten der Synchronmaschine<br>• Feldorientierte Regelung<br>• Raumzeigermodulation<br>• Systeme zur Lageerfassung (Resolver, Encoder)<br>• Regelung bei elastischer Kopplung zur Arbeitsmaschine<br>• Geberlose Regelung<br>• Detailprobleme bei der Strom- und Drehzahlregelung<br>• Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine |
| Empfohlene Literatur:<br>Schröder, Dierk: *Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen*, Springer Verlag |
| Anmerkungen: - |

### 3.3.2 Hochspannungsprüftechnik und EMV

## Modulname: Hochspannungsprüftechnik und EMV

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 120E |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Modulumfang (ECTS): 6 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Elektrotechnische Grundkenntnisse und Grundlagenkenntnisse der Elektromagnetischen Verträglichkeit sowie der Hochspannungstechnik, der Elektronik und Feldtheorie. |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Ziel des Moduls ist die Vermittlung spezieller Kenntnisse der Prüftechnik hochspannungstechnischer Komponenten und normgerechter Prüfverfahren auf dem Gebiet der Elektromagnetischen Verträglichkeit.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• kennen die Studierenden die gesetzlichen und verfahrenstechnischen Vorgehensweisen zur Vergabe des CE-Kennzeichens<br>• sind sie in der Lage häufig vorkommende Prüfverfahren normenkonform durchzuführen<br>• können Beanspruchungen hochspannungstechnischer Betriebsmittel detailliert begutachtet und bewertet werden<br>• kennen die Studierenden die technischen Prüfverfahren für Hochspannungsanlagen<br>• können sie Hochspannungsprüfungen gemäß der Norm durchführen |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 90 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 30 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. Der Laborteil des Moduls wird mit anhand einer schriftlichen Laborarbeit bewertet. |

| **Lehrveranstaltung: Hochspannungsprüftechnik** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 121E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Ausgewählte Arten der Spannungsbeanspruchung von elektrischen Betriebsmitteln in Stromversorgungsnetzen<br>• Normen der Hochspannungsprüftechnik |

| |
|---|
| • Erzeugung hoher Wechsel-, Gleich- und Impulsspannungen<br>• Messung hoher Wechsel-, Gleich- und Impulsspannungen<br>• Ausgewählte diagnostische Prüfverfahren<br>(z. B. Thermographie, chemische Transformatoruntersuchungen, Teilentladungsmesstechnik, C-tan δ-Messung) |
| Empfohlene Literatur:<br>Küchler, A.: *Hochspannungstechnik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York<br>VDE-Normen |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: EMV-Prüftechnik** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 122E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• EMV-Normen<br>• EMV-Gesetze<br>• Grundlagen der EMV-Meßtechnik<br>• Grundlagen der Störemissionsmesstechnik bei geleiteten und gestrahlten Störungen<br>• Grundlagen der Störfestigkeitsmesstechnik bei geleiteten und gestrahlten Störungen |
| Empfohlene Literatur:<br>A.J. Schwab: *Elektromagnetische Verträglichkeit*, Springer Verlag; Berlin Heidelberg New York<br>K.H. Gonschorek, H. Singer: *Elektro-Magnetische Verträglichkeit*, B.G. Teubner Stuttgart<br>VDE-Normen |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Labor Hochspannungsprüftechnik** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 123E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Labor; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Durchschlagsfestigkeit fester und flüssiger Isolierstoffe<br>• Dielektrische Messungen an festen und flüssigen Isolierstoffen<br>• Messung von Teilentladungen<br>Impulsspannungsmesstechnik |
| Empfohlene Literatur: siehe zugehörige Vorlesung |

| Anmerkungen: - |
|---|

### 3.3.3 Solare Energienutzung

## Modulname: Solare Energienutzung

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 130E |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Rainer Merz |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Physik, Elektronik, Höhere Mathematik |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Nach erfolgreicher Teilnahme sind die Studierenden in der Lage, energietechnische Anlagen unter Nutzung der Photovoltaik oder Solarthermie zu planen und zu entwickeln. Das umfasst ein vertieftes Verständnis für den Materialaufbau von Solarzellen, den halbleiterphysikalischen Vorgängen in den Zelltypen und die Aspekte der Materialherstellung. Großtechnische Anlagen für die elektrische Energieversorgung oder solare Wärmeerzeugung können ausgelegt werden.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• kennen Studierende die Materialanforderungen an kristallinen Solarzellen, deren Herstellprozess und die physikalischen Halbleitereffekte innerhalb der Zelle<br>• haben Studierende den Aufbau und Herstellung von Dünnschichtzellen kennen gelernt und die physikalischen Halbleitereffekte innerhalb der Zelle<br>• können Studierende Alterungsmechanismen von Solarmodulen beurteilen und Testverfahren angeben<br>• können Studierende prinzipielle, maximale und reale Wirkungsgrade von Solarzellen unterscheiden und diskutieren<br>• sind Studierende in der Lage großtechnische Photovoltaikanlagen für die elektrische Energieversorgung zu projektieren<br>• können Studierende hydraulische Netze und Heizungskreise projekttechnisch beschreiben<br>• können Studierende die solarthermische Energienutzung für die Wärmebedarfsversorgung von Gebäuden einbeziehen und rechnerisch auslegen<br>• kennen Studierende die Messtechniken und Verfahren der Gebäudeautomation, um die Solarthermie großtechnisch zu nutzen<br>• können Studierende Wirtschaftlichkeitsberechnungen erstellen und haben die Kompetenz diese auch für angrenzende Fachgebiete zu übertragen |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 90 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. |

| **Lehrveranstaltung: Solare Energienutzung** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 130E |

| |
|---|
| Dozent/in: Prof. Dr. Rainer Merz |
| Umfang (SWS): 4 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Konzepte der kristallinen Solarzelle<br>• Konzepte der Dünnschicht-Solarzelle<br>• Konzentratorzellen<br>• Solarzellen-Messtechnik<br>• Herstellung von Silizium-Solarzellen<br>• Herstellung von Dünnschicht Solarzellen<br>• Ausgewählte Kapitel der Photovoltaik<br>• Degradationseffekte<br>• Projektierung großtechnischer Photovoltaikanlagen<br>• Absorberkonzepte der Solarthermie<br>• Hydraulikkreisläufe<br>• Wärme- und Kältespeicher<br>• Automatisierung und Regelung der Heizkreisläufe |
| Empfohlene Literatur:<br>Häberlin, J.: *Photovoltaik: Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen*, Verlag VDE<br>Wagner, A.: *Photovoltaik Engineering: Handbuch für Planung, Entwicklung und Anwendung*, Verlag VDI<br>Antony, F.: Dürschner, Ch.; Remmers, K. H: *Photovoltaik für Profis: Verkauf, Planung und Montage von Solarstromanlagen*, Verlag Beuth<br>Watter, H.: *Regenerative Energiesysteme: Grundlagen, Systemtechnik und Anwendungsbeispiele aus der Praxis*, Verlag Vieweg-Teubner<br>Eicker, U.: *Solare Technologien für Gebäude,* Verlag Vieweg Teubner |
| Anmerkungen: - |

### 3.3.4 Netzbetrieb und Schaltgeräte

## Modulname: Netzbetrieb und Schaltgeräte

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 210E |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Thomas Ahndorf |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Elektrotechnische Grundkenntnisse und Grundlagenkenntnisse der Elektrischen Energieversorgung sowie der Hochspannungstechnik |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Ziel des Moduls ist die Vermittlung spezieller Kenntnisse im Bereich des Aufbaus, der Funktions- und Betriebsweise von Schaltgeräten und –anlagen der elektrischen Energieversorgung.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• kennen die Studierenden den Aufbau und das Betriebsverhalten von Verbund- und Inselnetzen<br>• können Studierende auf der Basis der technisch relevanten Netzeigenschaften die Netze qualifiziert beurteilen<br>• sind sie befähigt, Stromversorgungsnetze (Verbund- und Inselnetze) zu planen, umzubauen und auszubauen<br>• kennen die Studierenden die wichtigsten traditionellen und neuen Betriebsmittel der Schaltanlagentechnik (Schaltgeräte, Schaltanlagentechniken, Schutztechniken, etc.)<br>• können die Studierenden das betriebliche Monitoring von Schaltanlagen durchführen<br>• haben sie die Fähigkeit, Schaltanlagen qualifiziert zu planen<br>• haben sie die Kompetenz, standardisierte Dokumentationen zu erstellen |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. |

| **Lehrveranstaltung: Netzbetrieb** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 211E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Thomas Ahndorf |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Digitale Lastfluss- und Kurzschlussstromberechnung<br>• Aufbau und Betrieb von Verbund- und Inselnetzen |

| |
|---|
| • Dynamische Netzeigenschaften und Netzstabilität<br>• Netz- und Kraftwerksregelung<br>• Kraftwerkseinsatz<br>• Betriebsmittel zur Leistungsflussbeeinflussung<br>• Rundsteueranlagen<br>• SCADA-Systeme<br>• Regeln und Vereinbarungen für den Netzverbund |
| Empfohlene Literatur:<br>Oeding, D., Oswald, B.R.: *Elektrische Kraftwerke und Netze*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York<br>Heuck, K., et al.: *Elektrische Energieversorgung*, Vieweg Verlag<br>Hubensteiner, H., et al.: *Schutztechnik in elektrischen* Netzen, Planung und Betrieb, vde-verlag<br>Hubensteiner, H., et al.: *Schutztechnik in elektrischen Netzen, Grundlagen und Ausführungsbeispiele,* vde-verlag<br>Küchler, A.: *Hochspannungstechnik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Schaltgeräte und Schaltanlagen** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 212E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Thomas Ahndorf |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Aufbau von Schaltanlagen im Nieder- Mittel- und Hochspannungsbereich<br>• Anbindung von Off-shore-Windparks<br>• Anlagen zur Kopplung asynchroner Netze<br>• Anlagen- und Komponentenmonitoring<br>• Anlagenschutztechnik<br>• Anlagenplanung (Stromlaufpläne, Klemmenpläne, etc.) |
| Empfohlene Literatur: siehe oben |
| Anmerkungen: - |

### 3.3.5 Verteilte Energiesysteme

## Modulname: Verteilte Energiesysteme

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 220E |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Einführung in die Thermodynamik, Grundlagen der Energieversorgung |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Ziel des Moduls ist das Verständnis für zwei tragende Säulen unserer künftigen Energieversorgung mit elektrischer und thermischer Energie zu schaffen, die Kraft-Wärmekopplung und die Windenergiesysteme sowie deren Einbindung ins elektrische Netz. Künftig wird die Kraft-Wärme-Kopplung eine zentrale Rolle in der Energieversorgung einnehmen. Sie verfügt über die erforderliche Regelbarkeit, die fluktuierende Einspeisungen, wie es die Erneuerbare Energien mit sich bringen, zur Folge haben<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• kennen die Studierende die Struktur und die Funktionsweise künftiger Energieversorgungssysteme;<br>• kennen Studierende die Verfahren und Komponenten, die in verteilten Energiesystemen zur Anwendung kommen;<br>• Können die Studierenden Standorte für Windkraftanlagen anhand von Windmessdaten beurteilen;<br>• Können die Studierenden Leistungsangaben von Windkraftanlagen beurteilen;<br>• kennen die Studierenden die wichtigsten Algorithmen, die in Condition-Monitoring-Systemen von Windkraftanlagen zur Anwendung kommen;<br>• kennen die Studierenden die verschiedenen Steuerungs- und Regelungsverfahren von Windkraftanlagen und können ihre Wirkung auf den Verschleiß sowie die unterschiedliche Einbindung ins elektrische Netz benennen. |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) bewertet. |

| **Lehrveranstaltung: Verteilte Energiesysteme** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 221E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |

| |
|---|
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Warum verteilte Energiesysteme?<br>• Grundlagen der Thermodynamik zum Verständnis der Verbrennungskraftmaschine<br>• Otto-, Diesel- und Stirlingmotoren<br>• Motorsteuerungskonzepte<br>• Abgasreinigungskonzepte<br>• Brennstoffzellen<br>• KWK, BHKW<br>• Virtuelle Kraftwerke<br>• Konventionelle und nicht konventionelle Energiespeicher<br>• Grundprinzipien der Biogastechnologie<br>• Smart Grids, Demand Side Management (Laststeuerung)<br>• Hybridfahrzeuge und E-Mobility, Grundprinzipien<br>• Wärmepumpentechnik, Grundprinzipien<br>• Wasserstoffwirtschaft, Elektrolyseure, Brennstoffzellen, Methanisierung<br>• Netzüberwachung, Netzstabilisierung (ENS)<br>• Inselsysteme und Regenerative Kombikraftwerke |
| Empfohlene Literatur:<br>Schmitz, K. W., Schaumann G.( Hrsg): *Kraft-Wärme-Kopplung*, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg<br>Zahoransky R. A.: *Energietechnik*, 3. Auflage, Viehweg-Verlag, Wiesbaden<br>Karl J.: *Dezentrale Energiesysteme*, Oldenburg-Verlag<br>ASUE: *Kraft-Wärme-Kopplung*, Schriftenreihe, Vulkan-Verlag<br>Thomas B.: *Miniblockheizkraftwerke*, 1. Auflage, Vogel-Buchverlag<br>Fricke J., Borst W.: *Energie - Ein Lehrbuch der physikalischen Grundlagen*, Oldenbourg-Verlag, München |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Windenergiesysteme** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 222E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Bedeutung der Windenergie<br>• Geschichte der Windenergie: Ursprünge der Windenergienutzung, erste neuzeitliche Entwicklungen, Entwicklungen infolge der “Energiekrise”, Windenergie in Dänemark, Entwicklung weltweit, Vertikalachsenkonverter (VAWTs)<br>• Moment und Leistung an der Turbine: Energie der Luftströmung nutzbare Windleistung, Wirkungsgrad der nicht idealen Windturbine, Tragflügeltheorie<br>• Physikalische Grundlagen: Kräfte am Flugzeugflügel, Profilform, Gleitzahl eines Profils, Reynolds-Zahl, Schnelllaufzahl, |

- Windenergiewandler: Auftriebsprinzip, Widerstandsprinzip
- Konstruktiver Aufbau / -Mechanik: Luv- und Leeläufer, Windrichtungsnachführung, Turm, Fundament, Rotorblätter, Leistungsbegrenzung, Triebstrang
- Elektrische Ausrüstung: Drehstromgenerator, Synchrongenerator, Doppeltgespeister Asynchrongenerator, permanenterregte Synchrongeneratoren
- Konzepte: das dänische Konzept, Asynchrongenerator mit Schlupfregelung, Drehzahlvariabel mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator, drehzahlvariable Anlage mit Synchrongenerator, Vergleich Generatorkonzepte, Kosten der elektrischen Ausrüstung
- Steuerung und Regelung: Leistungs- und Drehzahlregelung, Netzparallelbetrieb, Inselbetrieb, Betriebsführung, Condition Monitoring
- Netzanbindung -Windparks
- Entstehung des Windes: Globale und lokale Windverhältnisse
- Ertragsabschätzung: Windmesstechnik, Windgeschwindigkeitsverteilung, Rauigkeit und Höhenprofil, Windturbulenzen und Böen
- Umweltaspekte: Geräuschentwicklung, Schallausbreitung, Geräuschmesstechnik
- Visuelle Beeinträchtigung (Schattenwurf), Beeinträchtigung der Landschaft, Rückbau
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Kostenaufteilung, Stromerzeugungskosten

Empfohlene Literatur:

Hau, E.: *Windkraftanlagen*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg
Gasch R., Twele J. (Hrsg.): *Windkraftanlagen*, Vieweg-Teubner - Verlag, Wiesbaden
Heier, S.: *Windkraftanlage*, Vieweg-Teubner-Verlag, Wiesbaden
Blaabjerg, F., Chen Z.: *Power Electronics for Modern Wind Turbines*, Morgan & Claypool Publishers
Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L.: *Wind Energy Explained*, 2. Ed., John Wiley & Sons
Mathew S.: *Wind Energy*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg
Jain P.: *Wind Energy Engineering*, Mc Graw Hill
Molly J.P.: *Windenergy*, Verlag C.F. Müller

Anmerkungen: -

### 3.3.6 Seminar Erneuerbare Energien

## Modulname: Seminar Erneuerbare Energien

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 230E |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Sebastian Coenen |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Grundlagen Regenerativer Energien, Physik, Verteilte Energiesysteme, Solare Energienutzung |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* In diesem Seminar werden aus dem Themenfeld der Erneuerbaren Energien neueste Entwicklungen in Fachvorträgen vorgestellt und fachlich bewertet. Insbesondere werden auch die nicht zum Kerngebiet der Elektrotechnik gehörenden Verfahren der Erneuerbaren Energien vorgestellt und hinsichtlich der Verbindung zur elektrischen Energieversorgung vertieft. Mögliche Themen beinhalten die Nutzung und Automatisierung von Biomasseanlagen, neueste Entwicklungen in der Batteriespeichertechnik, geothermische Energienutzung, etc.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• kennen Studierende durch die Präsentation von eingeladenen Experten aus der Industrie und Forschung neueste Entwicklung im Bereich der Erneuerbare-Energien-Technologien<br>• haben Studierende ein eigenes, vorgegebenes Fachthema in Gruppenform durch eigene Literaturrecherche erarbeitet und für einen wissenschaftlichen Folienvortrag aufbereitet<br>• können Studierende das vorgegebene Fachthema in wissenschaftlich aufbereiteter Form vor einem Fachpublikum vorstellen und diskutieren |
| Prüfungsleistungen:<br>Die wissenschaftliche Fachvortrag (Dauer 20 min), sowie die anschließende Diskussion mit den Hörern (Dauer 20 min) werden benotet. Die Kriterien für die Bewertung des Fachvortrags werden im Vorfeld bekannt gegeben |

| **Lehrveranstaltung: Seminar Erneuerbare Energien** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 230E |
| Dozent/in: Prof. Dr. Sebastian Coenen, Prof. Dr. Rainer Merz |
| Umfang (SWS): 4 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Seminar; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Energietechnik und Erneuerbare Energien, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte: *(Vorschläge, die von Semester zu Semester neu bestimmt werden, z. B):*<br>• Verfahrenskonzepte von Biomasseanlagen<br>• Automatisierung von Biomasseanlagen |

| |
|---|
| • Rohstoffkreisläufe in der Photovoltaik<br>• Neueste Entwicklungen bei elektrochemischen Energiespeichern<br>• Energieeffiziente Druckluftspeicher<br>• Oberflächennahe Geothermienutzung |
| Empfohlene Literatur:<br>Lobin, H.: *Die wissenschaftliche Präsentation: Konzept – Visualisierung – Durchführung*, Verlag Schöningh<br>Hofmann, Angelika H.: *Scientific Writing and Communication: Papers, Proposals, and Presentations*, Oxford University Press |
| Anmerkungen: - |

# 3.4 Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik

## 3.4.1 Theoretische Aspekte der Sensorik

**Modulname: Theoretische Aspekte der Sensorik**

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 110S |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Christian Karnutsch |
| Modulumfang (ECTS): 6 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Höhere Mathematik, Angewandte Chemie |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* In diesem Modul wird die Bedeutung von Grenzflächen und Transportprozessen in den Ingenieurwissenschaften vermittelt. Den Studierenden werden Theorien zur Beschreibung der Vorgänge an Grenzflächen und von Transportprozessen, speziell von Elektronen und Quasiteilchen, näher gebracht. Der Fokus liegt dabei auf einem vertieften Verständnis vielfältiger Sensor-Prinzipien und -Konfigurationen<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreicher Absolvierung des Moduls<br>• können die Studierenden die Phänomene an verschiedenen Grenzflächen (fest / flüssig / gasförmig) beschreiben, diese auf Sensoranwendungen übertragen und damit ausgewählte Sensoreigenschaften vertieft erklären<br>• kennen die Studierenden die Bilanz- und Kontinuitätsgleichungen und können diese aufstellen und damit selbstständig Transportprozesse analysieren<br>• können die Studierenden organische optoelektronische Bauelemente hinsichtlich ihrer Effizienz beurteilen |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) bewertet. |

| **Lehrveranstaltung: Grenzflächenphänomene** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 111S |
| Dozent/in: Prof. Dr. Christian Karnutsch |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>Vermittelt werden die Grundlagen und Modelle von wichtigen Grenzflächenvorgängen mit Fokus auf die Sensortechnologie, aber auch für weitere wichtige Anwendungen:<br>• Was sind Grenzflächen? |

| |
|---|
| • Adsorptions- und Desorptionsphänomene<br>• Oberflächenreaktionen und Katalyse<br>• Elektrische Doppelschichten<br>• Grundlagen der Elektrochemie an Grenzflächen<br>• Grenzflächen von Flüssigkeiten |
| Empfohlene Literatur:<br>Die Unterlagen zur Vorlesung werden über die Online-Lehrplattform angeboten.<br>Für das vertiefende Selbststudium werden folgende Bücher empfohlen:<br><br>Butt, Graf, Kappl: *Physics and Chemistry of Interfaces*, VCH-Verlag<br><br>P.W. Atkins: *Physikalische Chemie*, Wiley-VCH |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Spezielle Transportphänomene** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 112S |
| Dozent/in: Prof. Dr. Christian Karnutsch |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Grundlagen organischer Halbleiter<br>• Physikalische Vorgänge bei optischer und elektrischer Anregung von organischen Halbleitern<br>• Vertiefung der theoretischen Betrachtung von Transportphänomenen anhand des detaillierten Fallbeispiels organischer optoelektronischer Halbleiterbauelemente |
| Empfohlene Literatur: Zahlreiche Unterlagen werden über die Online-Lehrplattform ILIAS zur Verfügung gestellt, darunter auch viele aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen. Hilfreich für das Selbststudium sind:<br>A. Köhler, H. Bässler: *Electronic Processes in Organic Semiconductors,* Wiley-VCH<br>W. Brütting, Ch. Adachi: *Physics of Organic Semiconductors,* Wiley-VCH<br>Zeev Valy Vardeny: *Ultrafast Dynamics and Laser Action of Organic Semiconductors,* CRC Press<br>Klaus Müllen, Ullrich Scherf: *Organic Light-Emitting Devices: Synthesis, Properties and Applications,* Wiley-VCH<br>Joseph Shinar: *Organic Light-Emitting Devices: A Survey*, Springer<br>Ruth Shinar, Joseph Shinar: *Organic Electronics in Sensors and Biotechnology,* ; McGraw-Hill<br>Martin Pope, Charles E. Swenberg: *Electronic Processes in Organic Crystals and Polymers*<br>Oxford University Press |
| Anmerkungen: - |

### 3.4.2 Chemical and Biological Sensors

| Module title: Chemical and Biological Sensors |
|---|

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 120S |
| Module coordinator: Prof. Dr. Karsten Pinkwart |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regards to content: Basic knowledge of sensor system technology and chemistry |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* This module extends the knowledge in sensor technology by the important field of chemo- and biosensors, which have a wide range of innovative applications. These sensor types are crucial not only in industrial processes and environmental monitoring, they are also vital for measuring certain parameters of living systems, e.g., in medical engineering. Furthermore, the development of miniaturized chemo- and biosensors as well as novel sensor materials is an active area of research. Consequently, students are introduced to recent sensor trends in academia and industry.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students<br>• comprehend the fundamentals of chemo- and biosensors and can illustrate communalities and differences between these two sensor classes<br>• can describe their technological implementation in particular of current and miniaturized sensor approaches<br>• are able to describe sensor applications and respective challenges of practical measurements |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (120 minutes) or an oral examination (20 minutes). The form of examination will be announced at the beginning of the semester |

| **Course: Chemical Sensors** |
|---|
| Module Code: EITM121S |
| Lecturer: Dr. Hefels |
| Hours/week: 1 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: Lecture; mandatory in the study field Sensor Systems Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>An overview on the significance of chemical sensing for a wide range of applications such as environmental monitoring, process automation, human health, comfort and energy efficiency is given. |

| |
|---|
| Furthermore, a practical and highly relevant framework for assessing the requirements and performance of chemosensors is introduced.<br>Fundamental chemical concepts are applied to understand typical sensor characteristics.<br>Sensors are categorized according to their transduction principles: Mechanical, thermal and optical chemosensors including the recent miniaturization trends.<br>The chemosensor portfolio is further extended by the electrochemical transduction principle including potentiometric, amperometric and conductometric sensor types for e.g. pH, Oxygen and other important measurands. |
| Recommended reading:<br>J. Janata, *Principles of Chemical Sensors*, Springer<br>P. Gründler, *Chemical Sensors*, Springer<br>F.G. Banica, *Chemical Sensors and Biosensors*, Wiley<br>Fundamentals:<br>Brown et. al., *Chemistry – The Central Science*, Pearson, (SI units)<br>P. Atkins, J. de Paula & J. Keeler, *Physical Chemistry*, Oxford University Press |
| Comments: Corresponding lecture notes and complementary materials are available on ILIAS. |

| **Course: Biological Sensors** |
|---|
| Module code: EITM122S |
| Lecturer: Prof. Dr. Karsten Pinkwart |
| Hours/week: 1 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: Lecture; mandatory in the study field Sensor Systems Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>• Elaboration of the special features of biochemical sensors as a subclass of chemical sensors and the necessary transduction processes<br>• Comparison of biocatalytic and bioaffinity sensors and introduction of specific knowledge about antibodies and enzymes<br>• Different possibilities for binding biomolecules to a sensor surface using self-assembly monolayers (SAM) and Langmuir-Blodgett layers (LBL)<br>• Presentation of the routine steps for the complete construction of a biosensor using the example of nitroaromatic sensor technology<br>• Examination of the various transduction methods using the example of the biosensor detection of β-D-glucose as the world's most common biosensor. |
| Recommended reading:<br>Will be announced in the lecture |
| Comments: Corresponding lecture notes and complementary materials are available on ILIAS. |

| **Course: Radiation Sensors** |
|---|
| Module code: EITM123S |
| Lecturer: Dr. Holger Hessdorfer |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: Lecture; mandatory in the study field Sensor Systems Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |

IContents:

- Theoretical models of atomic structure and the structure of the atomic nucleus
- In-depth study of the theoretical principles underlying the production of radiation from various sources, including lasers
- Structure of nucleons, quarks and leptons; fundamental interactions
- Introduction to dark energy and dark matter – theoretical justification for their necessity
- Radiation from nuclear decays – α, β, γ and n radiation, energy production
- Further development of knowledge regarding the interaction of α, β, γ and n radiation with matter
- Provision of specialist knowledge on the design and operation of sensors for measuring radiation:
- Gas sensors:
    - Ionisation chamber
    - Proportional counter
    - Geiger–Müller counter
    - Scintillation detectors:
    - Scintillators
    - Photodiodes
    - Photomultipliers
    - Semiconductor detectors:
    - Si junction detector
    - Ge detector, γ-spectroscopy
- Spatial-resolution Si (strip) detectors
    - Multichannel plate, image intensifier
- Combinations of sensors for measuring high-energy particles

Recommended reading: Lecture slides (handouts)
K. Kleinknecht: Detectors for Particle Radiation, Springer
G.F. Knoll: Radiation Detection and Measurement, Wiley

Comments: Corresponding lecture notes and complementary materials are available on ILIAS.

### 3.4.3 Real Time Signal Processing

## Module title: Real Time Signal Processing

| **Modulübersicht** |
|---|
| Module code: EITM 130S |
| Module coordinator: Prof. Dr. Christian Langen |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regards to content: Computer Science, Control Theory, Analog Signal Processing |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* Acquisition of knowledge of real-time signal processing systems. The students learn to build up a complete real-time signal processing chain independently and to design digital signal processing systems and can create commercially-viable digital signal processing applications using real-time signal processing frameworks on computers.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students<br>• know real-time signal processing frameworks as computing platforms<br>• understand basic concepts of digital signal processing as sampling, reconstruction and aliasing<br>• understand fundamental filtering algorithms such as FIR, IIR, FFT and adaptive filters<br>• can assess real-time software programming basics and principles for digital signal processing<br>• have the ability to choose between different digital signal processing algorithms for different applications<br>• have the ability to use different design methods to achieve better results<br>• have the ability to evaluate experimental results (e.g. quality, speed, power) and correlate them with the corresponding design and programming techniques<br>• can implement digital signal processing and design methods on computing platforms<br>• can use commercial hardware and software tools to develop real-time signal processing applications |
| Assessment:<br>Assessment is done by an oral examination (20 minutes) for the seminary on a course project as well as by successful execution of the laboratory tasks. Prerequisite for participation in the exam is a written report on the lab tasks |

| **Course: Real Time Signal Processing Seminary** |
|---|
| Module code: EITM 131S |
| Lecturer: Prof. Dr. Christian Langen |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: seminary; mandatory in the study field Sensor Systems Technology, optional in the other study fields of the program. 80% of attendance in seminary sessions is mandatory. |
| Language of instruction: English |

| |
|---|
| Content:<br>• Discrete-time Signals and Systems: Convolution and Correlation<br>• Sampling, Reconstruction and Aliasing<br>• Review of Complex Exponentials and Fourier Analysis<br>• Time and Frequency Domains<br>• Z-Transform: Time and Frequency Domains<br>• FIR Filters: Moving Average Filters, Window Method of Design<br>• IIR Filters: Impulse Invariant and Bilinear Methods of Design, Simple Design Example<br>• Fast Fourier Transform: Review of Fourier Transforms, Derivation of Radix-2 FFT Algorithm<br>• Adaptive Filters: Prediction and System Identifications, Equalization and Noise Cancellation |
| Recommended reading:<br>Chassaing, Rulph; Reay, Donald: *Digital Signal Processing and Applications with the C6713 and C6416 DSK*, Wiley<br>Kuo, Sen M.; Lee, Bob H.; Tian, Wenshun: *Real-Time Digital Signal Processing. Fundamentals, Implementations and Applications*. Wiley<br>Pirkle, Will C.: *Designing Audio Effect Plugins in C++ for AAX, AU and VST3 in DSP Theory*, Taylor and Francis<br>Reay, Donald: *Digital Signal Processing Using the ARM Cortex-M4*. Wiley<br>Robinson, Martin: *Getting started with JUCE. Levering the power of the JUCE framework to start developing applications*, Pact Publishing<br>Yee-King, Matthew John: *Build AI-Enhanced Audio Plugins with C++*, Focal Press |
| Anmerkungen: - |

| **Course: Real Time Signal Processing Lab** |
|---|
| Module code: EITM 132S |
| Lecturer: Prof. Dr.-Ing. Christian Langen |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |
| Type/mode: lecture with integrated laboratory, mandatory in the study field Sensor Systems Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>• Introduction to the Real-Time Signal Processing Framework and Development Tool Chain<br>• Signal Quantization and Aliasing<br>• Sine, Rectangular and Pulse Signal Generation<br>• Non-Recursive Systems. Example: Delay<br>• Recursive Systems. Example: Echo<br>• Non-Recursive Filters with Finite Impulse Response (FIR)<br>• Recursive Filters with Infinite Impulse Response (IIR)<br>• Fast Fourier Transform (FFT) |
| Recommended reading: see above plus<br>Reay, Donald: *Digital Signal Processing and Applications with the OMAP-L138 eXperimenter*. Wiley 2012<br>Unsalan, Cem; Yücel, M. Erkin; Gürhan, D. Neniz: *Digital SIgnal Processing using ARM CortexM Based Microcontrollers*. ARM Education Media 2018 |
| Comments: - |

### 3.4.4 Sensor Miniaturization

## Module title: Sensor Miniaturization

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 210S |
| Module coordinator: Prof. Dr. Christian Karnutsch |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regards to content: basic knowledge of solid state physics and chemistry |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* Microsystems and Nanotechnology as fundamental approach for system miniaturization is considered one of today's key technologies. It is relevant both for microelectronic assemblies, microsensors and in the newly emerging field of optofluidic microsystems. The module enables students to acquire skills in the design, development, production and analysis of miniaturized senor systems and their applications.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students<br>• understand fabrication technologies for optofluidic sensor systems<br>• can independently assess which effects can be used to realize micro-, nano- and optofluidic systems<br>• are able to assess the potential for miniaturization of advanced and complex analysis systems<br>• are able to select the correct measuring instrument to be used based on the structural size and geometry of a component<br>• can design the microtechnological process route required for the fabrication of miniaturized sensor systems<br>• understand the fundamental engineering principles of micro- and nanosystems |
| Assessment:<br>Assessment is done by a written exam (120 minutes). |

| **Course: Optofluidic Sensor Systems** |
|---|
| Module code: EITM211S |
| Lecturer: Prof. Dr. Christian Karnutsch |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Sensor Systems Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>• Thin-film deposition and structuring techniques that are widely used in the fabrication of polymer-based, semiconductor-based and glass-based micro-scale sensor systems |

| |
|---|
| • Instruments for micro- and nanomeasurements to study, measure, analyze and image structures at the micro- and nanoscale<br>• Selected analysis systems and their miniaturization |
| Recommended reading:<br>Stephen A. Campbell: *Fabrication Engineering at the Micro- and Nanoscale,* Oxford University Press<br>Tai-Ran Hsu: *MEMS and Microsystems: Design, Manufacture, and Nanoscale Engineering*, John Wiley & Sons<br>Yeshaiahu Fainman, Luke Lee, Demetri Psaltis, Changhuei Yang*: Optofluidics: Fundamentals, Devices, and Applications,* McGraw Hill Professional<br>Joseph Goldstein, Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer, and Joseph Michael: *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis,* Springer |
| Comments: - |

| **Course: Micro- and Nanotechnology** |
|---|
| Module code: EITM 212S |
| Lecturer: N.N. |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field Sensor System Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>• Introduction to microsystem and nanotechnology<br>• Scaling effects in microsystem technology<br>• Fundamental microsystem process sequence<br>• Photolithography<br>• Silicon as enabling material for microtechnology<br>• Thin film deposition methods<br>• Etching methods<br>• Process examples (e.g., pressure sensors and accelerometers)<br>• Hybrid System Integration: Bridging the micro- and nanoscale to the macroscopic world<br>• Principles and applications of microfluidics<br>• Small is beautiful: Further miniaturization and novel functionalities by Nanotechnology |
| Recommended reading:<br>Lecture slides will be provided in the online learning system.<br>G. Gerlach & W. Dötzel: *Introduction to Microsystem Technology - A Guide for Student*, Wiley<br>S. Globisch: *Lehrbuch Mikrotechnologie*, Carl Hanser Verlag, (only available in German)<br>M. Madou: *Fundamentals of Microfabrication & Nanotechnology, Volume I & II*, CRC Press<br>J. Ramsden: *Nanotechnology*, Elsevier |
| Comments: - |

### 3.4.5 Advanced Sensors

## Module title: Advanced Sensors

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 220S |
| Module coordinator: Prof. Dr. Harald Sehr |
| Credits (ECTS): 6 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regards to content: Basic knowledge in physics, optics and electronics |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* This module teaches students theoretical models used to determine different measurement variables and for signal generation in physical and optical sensor systems.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students…<br>• understand the different working principles of sensors and are able to choose a suitable sensor for a given application<br>• understand the physics and technology of modern light sources and optical detectors<br>• can design advanced optical sensing systems<br>• can design electronic circuits for signal conditioning understand …<br>• are able to evaluate transfer functions and sensor characteristics of flow and fill level sensors.<br>• are able to apply advanced software to evaluate information from laboratory measurement systems. |
| Assessment:<br>Assessment is done by a written exam (120 minutes) and a written laboratory report |

| **Course: Optoelektronische Sensorsysteme** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM221S |
| Dozent/in: Prof. Dr. Christian Karnutsch |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalt:<br>• Strahlungsquellen<br>• Strahlungsdetektoren<br>• Aktive und passive Komponenten der optoelektronischen Sensorik<br>• Intensitätsbeeinflussende und spektraloptische Sensoren<br>• Interferometrische Sensorsysteme<br>• Faseroptische Bragg-Gitter |

| |
|---|
| • Akustooptische Bauelemente |
| Empfohlene Literatur:<br>Pedrotti, Bausch, Schmidt: *Optik für Ingenieure*, Springer<br>Haus, J.: Optical Sensors: *Basics and Applications*, Wiley<br>Reider G A: *Photonik*, Springer University Press<br>H Decoster: *Optoelectronic Sensors*, Wiley<br>Saleh, Teich: *Grundlagen der Photonik*, Wiley-VCH |
| Comments: - |

| **Course: Sensor Applications** |
|---|
| Module code: EITM 222S |
| Lecturer: Prof. Dr. Harald Sehr |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: Lecture; mandatory in the study field Sensor Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content:<br>• Fluid mechanical basics of flow measurement technology<br>• Characteristics and measuring principles of flow measurement technology<br>• Design and operating principles of flow measurement systems<br>• Characteristics and measuring principles of level sensors<br>• Design and operating principles of level measurement systems<br>• Surface wave sensor technology<br>• Wireless sensor systems<br>• Energy harvesting<br>• Application examples |
| Recommended reading:<br>Liptak: *Instrument Engineers' Handbook, Process Measurement and Analysis*, CRC Press<br>Considine: *Process Instruments and Controls Handbook*, McGraw-Hill<br>Fraden: *Handbook of Modern Sensors*, AIP Press, Springer<br>Niebuhr, Lindner*: Physikalische Messtechnik mit Sensoren*, Oldenburg<br>Hoffmann: *Taschenbuch der Messtechnik*, Hanser<br>Tränkler: *Taschenbuch der Messtechnik*, Oldenbourg<br>Finkenzeller: *RFID Handbuch*, Hanser |
| Comments: - |

| **Course: Advanced Sensors Lab** |
|---|
| Module code: EITM 223S |
| Lecturer: Prof. Dr. Helfried Urban |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: Laboratory, mandatory in the study field Sensor Technology, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English |
| Content: |

| |
|---|
| Laboratory experiments set-up with modern measurement tools and computer control.<br>Application of software tools for sensor signal evaluation. |
| Recommended reading:<br>Stonick, Virginia L / Bradly, Kevin: *Labs for signals and systems using MATLAB*<br>Doeblin, Ernest O: *Measurement Systems* |
| Comments: - |

### 3.4.6 Umwelttechnologie

## Modulname: Umwelttechnologie

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 230S |
| Modulverantwortliche(r): Dr. rer.nat. Margarita Aleksandrova |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Grundlagen der Chemie und der physikalischen Chemie |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein*: Das Ziel des Moduls ist die Vermittlung von allgemeinen und speziellen Kenntnissen im Bereich der Abwasser- und Abluftreinigung sowie Abfallentsorgung und Recycling<br><br>*Kompetenzen:*<br>Die Studierenden vertiefen ihr Wissen über<br>• Schadwirkung von Chemikalien<br>• Abwasser und Abwasserreinigung<br>• Membrantrennverfahren<br>• Abluft und Abluftreinigung<br>• Abfall und Recycling<br>• Grundlagen Umweltrelevante analytische Messmethoden<br>• Die praktische Anwendung von fundamentale Messmethoden (TOC, UV/VIS Spektroskopie, gängige Online Messanalytik)<br><br>Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden befähigt:<br>• Massenbilanzen bei der Abwasserbehandlung durchzuführen<br>• Probleme bei der biologischen Abwasserreinigung zu analysieren<br>• Zur Bewertung, Auslegung von Verfahren zur Wasserbehandlung mit Schwerpunkt Membrantechnik und Sensorik<br>• Begleitende Analytik für wassertechnische Prozesse zu planen, durchzuführen und zu bewerten<br>• komplexe Messgeräte unter Anleitung zu bedienen und die zugrundeliegenden Messprinzipen zu verstehen<br>• im Team gemeinsam eine komplexe Aufgabenstellung zu lösen<br>• Die Studierenden können bei Abwasser- und Abluftproblemen entsprechende<br>• Reinigungsverfahren auswählen und anwenden |
| Prüfungsleistungen:<br>Klausur (90 min.) und Ausarbeitungen (Bericht und Präsentation) zu den praktischen Übungen als Studienleistung |

| **Lehrveranstaltung: Umwelttechnik Vorlesung** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 231S |
| Dozent/in: Dr.rer.nat. Margarita Aleksandrova |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Schadwirkung von Chemikalien<br>- Humantoxikologie<br>- Ökotoxikologie<br>• Abwasser und Abwasserreinigung<br>- Abwasserinhaltsstoffe<br>- Abwasserreinigung durch kommunale Kläranlagen<br>- Grundlagen des aeroben und anaeroben biologischen Abbaus von organischen Abwasserinhaltsstoffen<br>- Grundlagen der Stickstoffelimination durch Nitrifikation und Denitrifikation<br>- Weiterentwickelte Verfahren in der biologischen Abwasserreinigung<br>• Membrantrennverfahren<br>- Grundlagen und Arten der Membrantrennverfahren<br>- Stofftransport bei Membrantrennverfahren<br>- Technische Membranmodule<br>• Abluft und Abluftreinigung<br>- Luftschadstoffe<br>- Abluftreinigung in der Industrie<br>- Rauchgasreinigung in Kraftwerken<br>- Abgasreinigung bei Automobilen<br>• Abfall und Recycling<br>- Abfallzusammensetzung<br>- Abfallentsorgung<br>- Recycling<br>• Analytische Messverfahren<br>- Bestimmung von Summenparameter im Wasser – TOC, TC, TN - Grundlagen<br>- Wasseranalytik mittels Ionenchromatographie<br>- Photometrische Bestimmung von Anionen und Kationen im Abwasser – UV/VIS Spektroskopie<br>- Nachweisgrenzen, Analytische Möglichkeiten, Messdatenerfassung und Validierung. |
| Empfohlene Literatur:<br>Jan Hoinkis: *Chemie für Ingenieure, Lehrbuch und Prüfungstrainer*, WILEY VCH<br>Walter Wiedenmannot: *Industrielle Wasseraufbereitung: Anlagen, Verfahren, Qualitätssicherung*, WILEY VCH<br>Walter Koelle: *Wasseranalysen - richtig beurteilt: Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe*, WILEY VCH<br>Hans Hermann Rump: *Laborhandbuch für die Untersuchung von Wasser, Abwasser und Boden*, WILEY VCH |
| Anmerkungen: - |

| **Lehrveranstaltung: Labor Umweltanalytik** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 232S |
| Dozent/in: Dr.rer.nat. Margarita Aleksandrova |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Labor; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Sensorsystemtechnik, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Bestimmung der Trinkwasserqualitätsparameter mittels Ionenchromatographie und photometrische Messanalytik (CSB, $NO_3^-$, $F^-$,$Ca^{2+}$, Wasserhärte etc.).<br>• Entfernung von gelösten anorganischen und organischen Substanzen aus Wasser mittels Umkehrosmose. Salzrückhaltanalyse über Summenparameterbestimmung (TOC, TC, TIC, TN).<br>• Nachweisgrenzen der analytischen Messtechnik<br>• Entfernung von organischen Farbstoffen durch Adsorptionsverfahren. Qualitative und quantitative Analyse von Farbstoffen im Textilabwasser mittels UV/VIS – Spektroskopie.<br>• Entsalzung von Wasser mittels Umkehrosmose |
| Empfohlene Literatur:<br>Skript zur Vorlesung<br>Umfangreiche Versuchsanleitungen, Bedienungsanleitungen und Beschreibungen der analytische Geräte<br>Messvorschriften nach DIN EN /VDI<br>Walter Koelle: *Wasseranalysen - richtig beurteilt: Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe*, WILEY VCH |
| Anmerkungen: - |

# 3.5 Vertiefungsrichtung Elektromobilität und Autonome Systeme

## 3.5.1 Elektrische Antriebe

Modul EITM 110M.
Siehe gleiches Modul (EITM 110E) in der Vertiefungsrichtung „Energietechnik und Erneuerbare Energien“

## 3.5.2 Switched Mode Power Supplies

**Module title: Switched Mode Power Supplies**

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 120M |
| Module coordinator: Prof. Dr. Alfons Klönne |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: Electronics, Power Electronics, Control Engineering |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* The module provides a theoretical understanding of DC-DC converter principles, their application and design. It takes into consideration not only typical steady state continuous conduction mode (CCM), but also the partial load operating point in discontinuous conduction mode (DCM).<br><br>*Competencies:* Upon successful completion the student<br>• understands the functionality and the components of switching power supplies<br>• has an overview of non-isolated and isolated power supplies<br>• is able to design and calculate switching power supplies in DCM and CCM<br>• can efficiently design power inductors and high-frequency magnetics for switching power supplies<br>• can apply control strategies to stabilize the output voltage |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (90 minutes) or an oral examination (20 minutes).<br>The form of examination will be announced at the beginning of the semester |

| **Course: Switched Mode Power Supplies** |
|---|
| Module code: EITM 120M |
| Lecturer: Prof. Dr. Alfons Klönne |
| Hours/week: 4 |
| Semester of delivery: yearly, winter semester |

| |
|---|
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field E-Mobility and Autonomous Systems, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Principles of Switching Power Conversion<br>• Role of Power Supply within power system<br>• Fundamentals of Pulsewidth Modulated Switching Power Supplies<br>• Basic Switching Circuits in CCM and DCM (Charge Pumps, Buck Converter, Boost Converter, Inverting Boost Converter, Buck-Boost Converter, Transformer Isolated Converters)<br>• Transformer-Isolated Circuits in CCM and DCM (Feedback Mechanism, Flyback Circuit, Forward Converter, Push-Pull Circuits, Half Bridge Circuits, Full Bridge Circuits)<br>• Quasi Resonant Converters<br>• Magnetic Components<br>• Power Stage Transfer Function<br>• Compensation in Switching Regulator Design<br>• Voltage and Current Control |
| Recommended reading:<br>Pressman, A; Billings, K.; Morey, T: *Switching Power Supply Design, Verlag McGraw-Hill*<br>Billings, K.: *Switchmode Power Supply Handbook*, McGraw-Hill<br>Maniktala, S.; *Switching Power Supplies: A to Z*, Verlag Newnes<br>Erickson, R.W.; Maksimovic, D.: Fundamentals of Power Electronics, Verlag Springer<br>Mohan N., Undeland, T., Robbins, W.: *Power Electronics, Converters, Application and Designs*, Wiley Verlag<br>Sandler, St.: *Switchmode Power Supply Simulation*, Verlag MCGraw-Hill<br>Brown, M.: *Power Supply Cookbook*, Verlag Newnes<br>Schlienz, U.: *Schaltnetzteile und ihre Peripherie: Einsatz, Dimensionierung, EMV*, Vieweg Verlag |
| Comments: - |

### 3.5.3 Radarsysteme

## Modulname: Radarsysteme

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 130M |
| Modulverantwortlicher: Prof. Dr. Serdal Ayhan |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Grundkenntnisse der Hochfrequenztechnik |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Das Ziel des Moduls ist die Vermittlung von allgemeinen und speziellen Kenntnissen im Bereich der Radartechnik auf System- und auf Komponentenebene. Insbesondere wird der Bereich der Signalverarbeitung zur Auswertung der Radarsignale über die gesamte Verarbeitungskette vorgestellt. Durch die erlangten Spezialkenntnisse sind die Studierenden in der Lage, die Radartechnik für unterschiedliche Anwendungen einzusetzen und in diesem Bereich auch Entwicklung zu betreiben.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>• kennen und verstehen die Studierenden die wichtigsten Grundlagen der Radartechnik.<br>• haben die Studierenden ein Verständnis über die Ausbreitung und die Reflektion von elektromagnetischen Wellen.<br>• sind die Studierenden mit den unterschiedlichen Radarverfahren bzw. Radarsystemen vertraut und insbesondere für den Anwendungsfall im Automotive-Bereich spezialisiert.<br>• können die Studierenden die wichtigsten Messgrößen des Radarsensors beschreiben und Zusammenhänge zwischen den Sensorkenngrößen ziehen.<br>• kennen die Studierenden die wichtigsten Systemkomponenten eines Radarsensors und können das Funktionsprinzip auch auf andere Bereiche der Hochfrequenztechnik übertragen.<br>• sind sie mit der gesamten Signalverarbeitungskette eines Radarsensors von der Vorsignalverarbeitung zur Erzeugung einer Punktewolke bis hin zur Nachsignalverarbeitung auf Objektebene vertraut.<br>• verstehen die Studierenden die unterschiedlichen Einflüsse auf die Messergebnisse eines Radarsensors und können Hardware-, Software- und Umgebungseinflüsse analysieren und einordnen.<br>• sind die Studierenden in der Lage, entsprechend der Anwendung die Anforderungen an die Hardware und die Signalverarbeitung eines Radarsensors abzuleiten und dadurch Radarsensoren auf dem Markt zu bewerten und auszuwählen. |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 90 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. |

| **Lehrveranstaltung: Radarsysteme** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 130M |
| Dozent/in: Prof. Dr. Serdal Ayhan |
| Umfang (SWS): 4 |
| Turnus: jährlich, Wintersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Elektromobilität und Autonome Systeme, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte:<br>• Übersicht der Sensoren im Automotive-Bereich und Einordnung der Radartechnik<br>• Radartechnik im Automotive-Bereich<br>• Ausbreitung und Reflektion elektromagnetischer Wellen<br>• Radargrundlagen (Radargleichung, Doppler)<br>• Radarrückstreuquerschnitt (RCS)<br>• Radarverfahren: Puls, CW, FMCW, Fast-Chirp, PN, OFDM<br>• ISM-Bänder<br>• Radarsystemmodell, Systemkomponenten und Signalerzeugung mit PLL<br>• Signalverarbeitung zur Abstands-, Geschwindigkeits-, Winkelschätzung<br>• Signalverarbeitung auf höherer Ebene (Clustering, Tracking, Lokalisierung)<br>• CFAR-Verfahren<br>• MIMO-Radar<br>• Ausgewählte Themen: Linearität, SNR, Phasenrauschen und Interferenz |
| Empfohlene Literatur:<br>Merrill I. Skolnik: *Radar Handbook*. McGraw-Hill.<br>Alexander Ludloff: *Praxiswissen Radar und Radarsignalverarbeitung*. Vieweg+Teubner Verlag.<br>Jürgen Göbel: *Radartechnik: Grundlagen und Anwendungen*. VDE.<br>Jürgen Detlefsen: *Radartechnik - Grundlagen, Bauelemente, Verfahren, Anwendungen*. Springer Verlag. |
| Anmerkungen: Laborversuche mit Radarsensoren und Matlab-Simulationen sind Teil der Vorlesung |

## 3.5.4 Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie

| **Modulname: Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologien** |
|---|

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 210M |
| Modulverantwortlicher: Prof. Dr. Karsten Pinkwart |
| Modulumfang (ECTS): 5 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Physik und Labor, Elektronik und Labor, Messtechnik und Labor, Elektronik und Regelungstechnik |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Die Lehrinhalte bauen auf den naturwissenschaftlichen Grundlagen auf und ergänzen sich mit den Modulen der Vertiefungsrichtung.<br><br>*Kompetenzen:* Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls:<br>Die Teilnehmenden erhalten einen praxisnahen Einblick in die aktuellen Anwendungsgebiete von Brennstoffzellen. Sie können den Aufbau und die Funktionsweise von elektrochemischen Energiewandlern erklären und besitzen Kenntnisse über Materialien, Konzepte, Messverfahren und Messdatenanalyse.<br>Nach erfolgreichem Abschluss<br>• kennen die Studierenden die technischen Konzepte zum Aufbau von Energiesystemen mit dem Energieträger Wasserstoff.<br>• kennen sie alle wichtigen Systemkomponenten von der Erzeugung, der Speicherung über die Wandlung bis hin zum Antriebsstrang in der mobilen Anwendung und verstehen deren Zusammenspiel |
| Prüfungsleistungen:<br>Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 90 min) oder in einer mündlichen Prüfung (Dauer 20 min) bewertet. Die Prüfungsart wird rechtzeitig zu Semesterbeginn bekannt gegeben. Eine schriftliche Laborauswertung ist als Studienleistung anzufertigen |

| **Lehrveranstaltung: Brennstoffzellen** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 211M |
| Dozent/in: Prof. Dr. Karsten Pinkwart |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Vorlesung; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Elektromobilität und Autonome Systeme, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |
| Inhalte: |

- Grundlagen zu Brennstoffzellen
  - Grundlagen Wasserstoff
    (Vorkommen, Thermodynamik, Stoffeigenschaften)
  - Erzeugung von Wasserstoff
    (Elektrolyse, Reformierung, Vergasung, Reinigung)
  - Speicherung und Transport (gasförmig, flüssig, hybrid)
- Brennstoffzellen
  - Prinzip
  - Typen
  - Aufbau
  - Einzelzelle
  - Zellstapel
  - BZ-System
- Charakterisierung von Brennstoffzellen
  - Stromdichte – Spannungskurven
  - Leistungsdichte
- Anwendung in der Fahrzeugtechnik
  - Antriebsstrangtypen
  - Fahrzeuge
- Werkstoffe, Recht und Sicherheit

Empfohlene Literatur:
P. Kurzweil, O.K. Dietlmeier: *Elektrochemische Speicher*, 1.Auflage, Wiesbaden, Springer Vieweg
P. Kurzweil: *Brennstoffzellentechnik*, 2.Auflage, Wiesbaden, Springer Vieweg
J. Töpler, J. Lehmann: *Wasserstoff und Brennstoffzelle*, 1. Auflage, Heidelberg, Springer Vieweg
J. Garche, C. K. Dyer, P.T. Moseley: *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, Elsevier Science
R. Korthauer: *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien*, 1. Auflage, Heidelberg, Springer Vieweg

Anmerkungen: -

| **Lehrveranstaltung: Labor Brennstoffzellen** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 212M |
| Dozent/in: Prof. Dr. Karsten Pinkwart |
| Umfang (SWS): 2 |
| Turnus: jährlich, Sommersemester |
| Art und Modus: Labor; Pflichtmodul für Vertiefungsrichtung Elektromobilität und Autonome Systeme, Wahlmodul für die anderen Vertiefungsrichtungen des Masterstudiengangs Elektrotechnik |
| Lehrsprache: Deutsch |

Inhalte:

- Vermittlung des Verhaltens von PEM Brennstoffzellen vergleichend zu Lithium-Ionen-Batterien und in elektrifizierten Fahrzeugen
  - Elektrofahrzeug (Rollenprüfstand)
  - Prinzip und Nutzung von
    - PEM Brennstoffzelle
    - Lithium-Ionen-Batterien
  - Wasserstoffbereitstellung - Elektrolyse

| |
|---|
| ○ Batteriemanagement<br>○ Wirkungsgrade<br>○ Simulation von Fahrzyklen, Datenerfassung und Analyse |
| Empfohlene Literatur: siehe zugehörige Vorlesung |
| Anmerkungen: - |

### 3.5.5 Gehobene Regelungstechnik

Modulname: EITM 220M.
Siehe gleiches Modul (EITM 220A) in der Vertiefungsrichtung „Automatisierungstechnik“

### 3.5.6 Advanced Computational Imaging and Displays

**Module title: Advanced Computational Imaging and Displays**

| **Module summary** |
|---|
| Module code: EITM 230M |
| Module coordinator: Prof. Dr. Jan Bauer |
| Credits (ECTS): 5 CP |
| Semester: 1st or 2nd semester |
| Pre-requisites with regard to content: Basic knowledge in linear algebra, signal processing, Fourier analysis, and programming (e.g., Python or MATLAB). Recommended: introductory knowledge in optics and sensors. |
| Pre-requisites according to the examination regulations: none |
| Learning outcomes and competencies:<br>*General:* This module provides essential knowledge for students focusing on imaging, computer vision, robotics, display technology, and visual computing applications.<br><br>*Competencies:* Upon successful completion, the students<br>• know the physical and mathematical principles of light as an information carrier<br>• understand the fundamentals of image formation and computational imaging algorithms<br>• can assess the characteristics and measurement aspects of pixels in standard and event-based cameras<br>• understand concepts of data transmission, storage, and compression in imaging systems<br>• can evaluate display technologies with respect to human visual perception and visual quality<br>• are able to apply computational imaging and processing methods to solve practical problems in imaging and display systems |
| Assessment:<br>Assessment is done by either a written exam (90 minutes) or an oral examination (20 minutes) or a combination/selection of assignment, term paper and/or course project. The form of examination will be announced at the beginning of the semester. Successful participation in the lab is a prerequisite for the exam. |

| **Course: Advanced Computational Imaging and Displays** |
|---|
| Module code: EITM 231M |
| Lecturer: Prof. Dr. Jan Bauer |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: lecture; mandatory in the study field E-Mobility and Autonomous Systems, optional in the other study fields of the program |

| |
|---|
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Introduction to computational imaging<br>• Light as an information carrier and optical encoding<br>• Image acquisition principles with standard cameras<br>• Event-based cameras: principles, differences, advantages, and application areas<br>• Pixel data as measurements: sampling, quantization, noise considerations<br>• Data transmission, storage, and compression for imaging pipelines<br>• Display systems: rendering images for human visual perception<br>• Perceptual aspects of display and visualization |
| Recommended reading:<br>Gonzalez, R. C., Woods, R. E.: *Digital Image Processing*, 4th edition, Pearson - comprehensive and updated coverage of digital image processing fundamentals, including deep learning and MATLAB projects.<br>Beyerer, J., Frese, C., Hirzle, T.: *Machine Vision: Automated Image and Video Analysis*, Springer Vieweg – practical introduction to automated image processing systems and industrial vision applications.<br>Chen, Janglin, Cranton, Wayne, Fihn, Mark (Eds.): *Handbook of Visual Display Technology*, Spinger, – authoritative reference covering all major display technologies, including OLED, flexible, and interactive displays.<br>Posch, C. et al.: *Retinomorphic Event-Based Vision Sensors: Bioinspired Cameras with Spiking Output*, Proceedings of the IEEE, 2014 – fundamental overview of event-based vision sensor principles and applications.<br>Schechner, Y. Y., et al.: *Computational Photography*, in Handbook of Computer Vision, Springer, – current trends and methods in computational photography.<br>Wandell, B. A.: *Foundations of Vision*, Sinauer Associates, – classic introduction to human visual perception and its relevance to imaging.<br>Reinhard, E., et al.: *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*, 2nd edition, Morgan Kaufmann, – essential reading for HDR imaging and display technologies |
| Comments: This lecture provides theoretical foundations and methods for the associated laboratory course. |

| **Course: Advanced Computational Imaging and Displays Lab** |
|---|
| Module code: EITM 232M |
| Lecturer: Prof. Dr. Jan Bauer |
| Hours/week: 2 |
| Semester of delivery: yearly, summer semester |
| Type/mode: laboratory; mandatory in the study field E-Mobility and Autonomous Systems, optional in the other study fields of the program |
| Language of instruction: English or German; the course language will be announced at the beginning of the semester |
| Content:<br>• Project work: implementation of computational imaging and display algorithms<br>• Reading and presentation of peer-reviewed technical papers related to lecture topics<br>• Simulation and experimental validation of imaging or display methods |

| |
|---|
| • Training in technical writing, scientific reading, presentation, and experimental evaluation |
| Recommended reading:<br>See corresponding lecture |
| Comments: This laboratory deepens understanding of lecture topics through programming, simulation, experimentation, and critical analysis of state-of-the-art research. |

# 3.6 Allgemeine Module

## 3.6.1 Wissenschaftliches Arbeiten

**Modulname: Wissenschaftliches Arbeiten**

| **Modulübersicht** |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 190 |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Dozenten: Professoren des Studiengangs, nach Vereinbarung |
| Modulumfang (ECTS): 8 CP |
| Einordnung (Semester): 1. oder 2. Semester |
| Sprache: Deutsch oder Englisch |
| Modus: Pflichtmodul in allen Vertiefungsrichtungen |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Grundlagen der Höheren Mathematik, Physik, Chemie, Elektrotechnik, Programmierkenntnisse |
| Voraussetzungen nach SPO: keine |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Dieses Modul führt die Studierenden zur selbständigen Projektarbeit anhand einer eingegrenzten Aufgabe ohne Vorgabe der detaillierten Vorgehensweise.<br><br>*Kompetenzen:* Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben<br>• sind in der Lage, selbständig eine Aufgabenstellung zu analysieren, die zur Lösung der Aufgabe zur Verfügung stehenden Mittel (z.B. Messtechnik) einzuschätzen und daraus zielgerichtete Handlungen abzuleiten<br>• können Entwicklungs- bzw. Forschungsstrategien entwickeln,<br>• sind befähigt, einen eingegrenzten Projektabschluss unter Zuhilfenahme von Literatur und Einholung von Fachinformationen in einem vorgegebenen Zeitrahmen zu erreichen<br>• haben gelernt, ein Entwicklungsprojekt nach wissenschaftlichen Standards zu dokumentieren<br>• sind fähig, das Projekt hinsichtlich Vorgehensweise, Ergebnisdiskussion und Einordnung in allgemeinere Zusammenhänge anhand einer Präsentation darzustellen |
| Inhalt:<br>• Übernahme einer Projektaufgabe von einem Professor des Masterstudienganges<br>• Eigene Vorüberlegungen / Strategien des / der Studierenden<br>• Besprechung der Vorgehensweise mit dem Betreuer (Professor / Assistent)<br>• Durchführung des Projektes unter Nutzung der Infrastruktur der Fakultät<br>• Regelmäßige kleine Statusseminare<br>• Wissenschaftliche Dokumentation<br>• Vortrag |
| Prüfungsleistungen:<br>Die Kenntnisse der Studierenden werden anhand einer schriftlichen Ausarbeitung und eines Vortrags (20 min) mit anschließendem Kolloquium bewertet. |

### 3.6.2 Wahlmodule

Siehe allgemeine Beschreibung auf S.7.

### 3.6.3 Master-Thesis

| Modulname: Master-Thesis |
|---|

| Modulübersicht |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 310 Master-Thesis |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Dozenten: Professoren des Studiengangs, nach Vereinbarung |
| Modulumfang (ECTS): 24 CP |
| Einordnung (Semester): 3. Semester |
| Sprache: Deutsch oder Englisch |
| Modus: Pflichtmodul in allen Vertiefungsrichtungen |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Inhalte des Masterstudiengangs |
| Voraussetzungen nach SPO: 50 CP erworben |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Selbstständige Bearbeitung eines Themas mit wissenschaftlichen Methoden in einer gegebenen Zeit.<br><br>*Kompetenzen:* Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben<br>• sind in der Lage, selbständig eine Aufgabenstellung mit wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten<br>• können eine Aufgabenstellung analysieren und ihr Vorgehen strukturieren<br>• sind fähig, eine Literaturrecherche durchzuführen, die Literatur auszuwerten, relevante Informationen zu extrahieren und Schlussfolgerungen für die eigene Arbeit zu ziehen<br>• sind befähigt, ihr Wissen anzuwenden<br>• sind in der Lage, ihre Ergebnisse in einer schriftlichen Ausarbeitung zu dokumentieren |
| Inhalt:<br>• Übernahme der Master-Thesis von einem Professor des Masterstudienganges<br>• Eigene Vorüberlegungen / Strategien des / der Studierenden<br>• Besprechung der Vorgehensweise mit dem betreuenden Professor<br>• weitestgehend eigenverantwortliche Durchführung der Master-Thesis<br>• Regelmäßige Besprechung der Vorgehensweise und der Zwischenergebnisse mit dem betreuenden Professor<br>• Wissenschaftliche Dokumentation<br>• Vortrag |
| Prüfungsleistungen:<br>Die Fähigkeiten der Studierenden werden anhand der schriftlichen Ausarbeitung bewertet. Die Präsentation der Ergebnisse ist Teil des Moduls Abschlussprüfung. |

### 3.6.4 Abschlussprüfung

| Modulname: Abschlussprüfung |
|---|

| Modulübersicht |
|---|
| EDV-Bezeichnung: EITM 320 Abschlussprüfung |
| Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Manfred Litzenburger |
| Dozenten: Hauptbetreuer der Master-Thesis und mindestens ein weiterer Prüfungsberechtigter des Studiengangs |
| Modulumfang (ECTS): 6 CP |
| Einordnung (Semester): 3. Semester |
| Sprache: Deutsch oder Englisch |
| Modus: Pflichtmodul in allen Vertiefungsrichtungen |
| Inhaltliche Voraussetzungen: Inhalte des Masterstudiengangs |
| Voraussetzungen nach SPO: Thesis abgeschlossen |
| Lernergebnisse und Kompetenzen:<br>*Allgemein:* Darstellung und Zusammenfassung der im Studium erworbenen Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen.<br><br>*Kompetenzen:* Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben<br>• sind in der Lage, ihre Kenntnisse in einen größeren Zusammenhang zu stellen<br>• können ihr Wissen vernetzen und fachübergreifend nutzen<br>• sind fähig, ihr Wissen darzustellen<br>• können ein Projekt und die erzielten Ergebnisse in einer Präsentation darstellen |
| Inhalt: Vortrag und mündliche Prüfung |
| Prüfungsleistungen:<br>Die Fähigkeiten der Studierenden werden anhand eines Vortrags (20Min.) und einer anschließenden mündlichen Prüfung (20 Min.) bewertet. |