UNIVERSITÄT PADERBORN

FAKULTÄT FÜR ELEKTROTECHNIK, INFORMATIK UND MATHEMATIK
INSTITUT FÜR ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK

MODULHANDBUCH FÜR DEN MASTERSTUDIENGANG COMPUTER ENGINEERING V4 (CEMA V4)

STAND: 8. SEPTEMBER 2026

Inhaltsverzeichnis

1 Pflichtbereich **4**

2 Wahlpflichtbereich **38**
2.1 Vertiefungsgebiet “Communication and Networks” 38
2.2 Vertiefungsgebiet “Computer Systems” 112
2.3 Vertiefungsgebiet “Control and Automation” 144
2.4 Vertiefungsgebiet “Embedded Systems” 188
2.5 Vertiefungsgebiet “Nano/Microelectronics” 234
2.6 Vertiefungsgebiet “Signal Processing” 284

3 Wahlbereich **347**
3.1 ET-Katalog Energie und Umwelt 348
3.2 ET-Katalog Kognitive Systeme 394
3.3 ET-Katalog Kommunikationstechnik 429
3.4 ET-Katalog Mikroelektronik 482
3.5 ET-Katalog Optoelektronik 509
3.6 ET-Katalog Prozessdynamik 549
3.7 Informatik-Focus Area Classical and Quantum Algorithm Design 578
3.8 Informatik-Focus Area Computer and Communication Systems 622
3.9 Informatik Focus Area Data Science and Intelligent Systems 636
3.10 Informatik-Focus Area Security 683
3.11 Informatik-Focus Area Software Engineering 746

4 Abschlussarbeit **796**

5 Übersicht des Modulangebotes im Wintersemester **801**

6 Übersicht des Modulangebotes im Sommersemester **803**

7 Übersicht der Modulangebote in englischer Sprache **805**

Präambel und Hinweise

Aus technischen Gründen wurde die Präambel des Modulhandbuches ausgelagert. Sie ist unter Prüfungsordnungen und Modulhandbücher unter dem Punkt “Modulhandbücher” auf den Seiten des Instituts EIM-E zu finden. Wir bitten um Beachtung dieser Präambel.

Bei Fragen zum vorliegenden Modulhandbuch oder zur Präambel wenden Sie sich bitte entweder

- an den Prüfungsausschuss Computer Engineering,
- an die Fachstudienberater Computer Engineering,
- an die Studienberatung Elektrotechnik oder
- an die PAUL-Studierendenbetreuung Elektrotechnik.

Bitte beachten Sie auch, dass

1. in diesem Modulhandbuch alle laut Prüfungsordnung vorgesehenen Module aufgelistet werden, auch wenn Sie in dem entsprechenden Semester nicht angeboten werden.
2. dieses Modulhandbuch den Datenbestand des Erzeugungsdatum beinhaltet. Alle Angaben sind ohne Gewähr.

1 Pflichtbereich

Advanced Networked Systems			
Advanced Networked Systems			
Modulnummer / Module number: M.079.4096	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05820 Advanced Networked Systems	V2 Ü3	75	105	P	50/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05820 Advanced Networked Systems	L2 Ex3	75	105	C	50/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3	**Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:** keine *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Networked Systems:* **Empfohlene Vorkenntnisse** Kenntnisse in den Bereichen Computernetzwerke, Betriebssysteme, Programmiersprachen, C/C++ und Python-Programmierung in der Linux-Umgebung sowie ein ausgeprägtes Interesse daran, zu verstehen, wie die Dinge unter der Haube funktionieren. Fähigkeit, wissenschaftliche Arbeiten professionell zu lesen. Fähigkeit, in einem komplexen Umfeld zu programmieren. none *Prerequisites of course Advanced Networked Systems:* **Recommended Proficiencies** Knowledge of computer networks, operating systems, programming languages, C/C++ and Python programming in the Linux environment, and a keen interest in understanding how things work under the hood. Ability to read scientific papers professionally. Ability to code in a complex setting.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Networked Systems:* Der Kurs behandelt Konzepte und Entwürfe für moderne vernetzte Systeme, die vom Internet und von Cloud-Rechenzentren übernommen werden, um die ständig steigenden Anforderungen an die Datenübertragung und die von Big-Data- und Machine-Learning-Anwendungen angetriebenen Berechnungen zu erfüllen. • Grundlagen der Netzwerktechnik (Auffrischung) • Rechenzentrumsnetzwerke (Architekturen, Überlastungskontrolle) • Softwaredefinierte Netzwerke (SDN, OpenFlow) • Programmierbare Netzwerke (P4, eBPF/XDP) • Architekturen programmierbarer Netzwerkgeräte (RMT, SmartNICs) • Netzwerküberwachung und In-Network-Computing (Caching, Aggregation) • Systeme für maschinelles Lernen (Modelltraining, Systeme für LLMs) *Contents of the course Advanced Networked Systems:* The course will cover concepts and designs for modern networked systems adopted by the Internet and cloud data centers to meet the ever-increasing demands of data transfer and computation driven by big data and machine learning applications. • Networking fundamentals (refresher) • Data center networks (architectures, congestion control) • Software-defined networks (SDN, OpenFlow) • Programmable networks (P4, eBPF/XDP) • Programmable network device architectures (RMT, SmartNICs) • Network monitoring and in-network computing (caching, aggregation) • Systems for machine learning (model training, systems for LLMs)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach Abschluss dieses Kurses werden die Studierenden in der Lage sein,

- Kenntnisse über aktuelle Forschungsthemen im Bereich der vernetzten Systeme zu erlangen.
- das Design dieser neuen Technologien für vernetzte Systeme zu verstehen und über die darin enthaltenen Designentscheidungen nachzudenken.
- komplexe vernetzte Systeme unter Anwendung einiger dieser Entwürfe zu bauen, die Vorzüge und Grenzen dieser Entwürfe zu analysieren und zu bewerten und die Entwurfsentscheidungen für die gebauten Systeme zu erklären.

Upon completion of this course, students will be able to

- gain knowledge of current research topics in networked systems.
- understand the design of these new networked systems technologies and reason about the design choices therein.
- build complex networked systems by applying some of these designs, analyze and evaluate the merits and limitations of these designs, and explain the design choices for the built systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Lin Wang
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Networked Systems:* **Methodische Umsetzung** Der Kursinhalt wird mit Hilfe von Folienvorlesungen, interaktiven Übungen und programmierbasierten Projektaufgaben vermittelt. Ein Großteil des Kurses wird auf Diskussionen über aktuelle Forschungsthemen basieren, die durch praktische Programmieraufgaben ergänzt werden. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Projektbeschreibungsunterlagen für die Programmieraufgaben • Zusätzliche Literatur (z. B. Forschungsarbeiten) auf der Website der Lehrveranstaltung und in den Vorlesungsfolien

Remarks of course Advanced Networked Systems:
Implementation Method
The course content will be taught with slides-based lectures, interactive exercises, and programming-based project assignments. Much of the course will be based on discussions of cutting-edge research topics, complemented with hands-on programming assignments.
Learning Material, Literature

- Lecture slides and exercise sheets
- Project description documents for the programming assignments
- Additional literature (e.g., research papers) on the course website and in the lecture slides

Advanced Computer Architecture

Advanced Computer Architecture

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4005	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05724 Advanced Computer Architecture	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05724 Advanced Computer Architecture	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Computer Architecture:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus der Bachelor-Veranstaltung Rechnerarchitektur sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Advanced Computer Architecture:
Recommended Proficiencies
Knowledge from the Bachelor course Computer Architecture is helpful.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Computer Architecture:* Die Lehrveranstaltung vermittelt die wesentliche Konzepte und Methoden, die beim Entwurf moderner Prozessoren Verwendung finden. Insbesondere werden dabei fortgeschrittene Aspekte der Optimierung von Zugriffszeiten und Durchsatz in der Speicherhierarchie, sowie Ansätze zur Nutzung von Parallelität auf der Instruktions-, Daten- und Thread-Ebene besprochen. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Grundlagen der Rechnerarchitektur (Wiederholung und Zusammenfassung) • Entwurf der Speicherhierarchie • Parallelität auf Instruktionsebene • Datenparallelität: Vektor-, SIMD- und GPU-Architekturen • Parallelität auf Thread-Ebene • Warehouse-scale Computer • Domain-specific computer architectures *Contents of the course Advanced Computer Architecture:* The course teaches the essential concepts and methods used in the design of modern processors. In particular, advanced aspects of optimizing access times and throughput in the memory hierarchy, as well as approaches to exploiting parallelism at the instruction, data, and thread levels are discussed. The course covers the following topics: • Fundamentals of computer architectures (refresher) • Memory hierarchy design • Instruction-level parallelism • Data-level parallelism: Vector, SIMD and GPU architectures • Thread-level parallelism • Warehouse-scale computer • Domain-specific computer architectures
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach Abschluss dieses Moduls können Studierende • die Architektur moderner Speichersysteme mit mehreren Ebenen erklären, die durchschnittliche Zugriffszeit mathematisch modellieren und den Einfluss der wesentlichen Entwurfsparameter qualitativ beschreiben und bewerten, • die Konzepte zur Parallelverarbeitung auf Daten-, Instruktions-, Thread-, und Task-Ebene erläutern und Algorithmen zur Out-of-Order Execution gegenüberstellen, • die Grenzen der Rechenleistung für konkrete Anwendungen und Architekturen anhand des des Roofline-Modells untersuchen, • die gebräuchlichen Ansätze und Protokolle für Cachekohärenz in Multiprozessor-Systemen erläutern und die Funktionsweise an Beispielen demonstrieren und • durch Computersimulation unterschiedliche Ausprägungen moderner Rechnersysteme quantitativ bewerten und die Resultate interpretieren.

Upon completion of this module, students will be able to

- explain the architecture of modern multi-level storage systems, mathematically model the average access time, and qualitatively describe and evaluate the influence of the main design parameters,
- explain the concepts of parallel processing at the data, instruction, thread and task levels and contrast algorithms for out-of-order execution,
- examine the limits of computing power for specific applications and architectures using the Roofline model,
- explain the common approaches and protocols for cache coherence in multiprocessor systems and demonstrate how they work with examples, and
- quantitatively evaluate different characteristics of modern computer systems through computer simulation and interpret the results.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Plessl, Prof. Dr. Marco Platzner
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Computer Architecture:* **Methodische Umsetzung** Die Lehrveranstaltung besteht aus einer Vorlesung und Rechen- sowie praktischen Übungen. Die Vorlesung erfolgt mit Beamer und Tafelanschrieb. In den Rechenübungen werden Aufgaben ausgegeben und deren Lösungen in einer Übungseinheit vorgestellt und diskutiert. Im Rahmen der praktischen Übungen werden die Auswirkungen von Entwurfsentscheidungen und Optimierungsmöglichkeiten auf der Hard- und Softwareebene am Computer mit Simulatoren von Prozessor und Speichersystemen anhand von Fallstudien untersucht und vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Aufgabenblätter und technische Dokumentation für die Rechnerübungen • Hennessey, Patterson: Computer Architecture: A Quantitative Approach (6th edition), Morgan Kaufmann, 2017 • Aktuelle Hinweise auf alternative und ergänzende Literatur, sowie Lehrmaterialien auf der Webseite und in den Vorlesungsfolien

Remarks of course Advanced Computer Architecture:
Implementation method
The course consists of a lecture and paper&pencil as well as practical exercises. The lecture is held with a beamer and blackboard. In the paper&pencil exercises, assignments are handed out and their solutions are presented and discussed in an exercise session. In the practical exercises, the effects of design decisions and optimisation options at the hardware and software level are examined and deepened on the computer with simulators of processor and memory systems using case studies.
Learning Material, Literature

- Lecture slides and exercise sheets
- Exercise sheets and technical documentation for the for the computer-based exercises
- Hennessey, Patterson: Computer Architecture: A Quantitative Approach (6th edition), Morgan Kaufmann, 2017.
- Information about alternative and additional literature as well as teaching material on the course's website and in the lecture slides

Statistische Signale			
Statistical Signals			
Modulnummer / Module number: M.048.210XX	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.21004 Verarbeitung statistischer Signale	2V 2Ü, WS	60	120	P	60/30
b)	L.048.24014 Statistical Signal Processing	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.21004 Statistical Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	60/30
b)	L.048.24014 Statistical Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

1 aus 2 bzw. Lehrveranstaltung a) oder b)

1 of 2 resp. Course a) or b)

3	**Teilnahmevoraussetzungen** / **Admission requierements:** Keine *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale:* **Empfohlen:** Grundkenntnisse in statistischer Signalbeschreibung, wie sie in einem Bachelorstudium Elektrotechnik oder verwandter Disziplinen gelernt werden. *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Statistical Signal Processing:* **Empfohlen:** Grundvorlesungen der Signaltheorie und Wahrscheinlichkeitsrechnung None *Prerequisites of course Verarbeitung statistischer Signale:* **Recommended:** Basic knowledge of statistical signal description as learned in a bachelor's degree program in electrical engineering or related disciplines. *Prerequisites of course Statistical Signal Processing:* **Recommended:** Undergraduate courses in signal processing and probability

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale:* **Kurzbeschreibung** Mit der Veranstaltung Verarbeitung statistischer Signale erlangen die Studierenden ein Verständnis für die Bedeutung der beschreibenden und schließenden Statistik für viele Bereiche der Elektrotechnik. Sie festigen ihre Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik und erhalten einen Einblick in die Schätz- und Detektionstheorie, sowie die statistische Zeitreihenanalyse. Darüber hinaus werden Verfahren vorgestellt, mit deren Hilfe aus Daten gewonnene Schätzwerte hinsichtlich statistischer Signifikanz bewertet werden können. Die Kenntnis der Detektions- und Estimationstheorie, sowie der Zeitreihenanalyse, aber auch die kritische Bewertung von experimentellen Ergebnissen sind von essentieller Bedeutung für das Verständnis und die kritische Anwendung moderner Signalverarbeitungsverfahren. **Inhalt** • Zufallsexperiment, axiomatischer Begriff der Wahrscheinlichkeit • Begriff der Zufallsvariablen, Verteilungsfunktion, wichtige Verteilungen diskreter und kontinuierlicher Zufallsvariablen, Zufallsvariablentransformation • Maximum-Likelihood Parameterschätzung, lineare Schätzer, Bewertung der Qualtiät von Schätzern, Cramer-Rao Schranke • Bayes'sche Schätzverfahren, (L)MMSE-Schätzung, Spezialfall Gaußverteilung • Stochastische Prozesse, Stationärität, Ergodizität, Korrelationsfunktion und Leistungsdichtespektrum, weißes Rauschen, Markovketten • Optimalfilter nach Wiener, autoregressive Prozesse • Maximum-a-Posteriori und Neyman-Pearson Entscheidungsregel, Receiver Operating Characteristic, statistische Hypothesentests *Inhalte der Lehrveranstaltung Statistical Signal Processing:* **Kurzbeschreibung** Unter "Statistical signal processing" versteht man die Techniken, die Ingenieure und Statistiker benutzen, um unvollständige und fehlerbehaftete Messungen auszuwerten. Diese Veranstaltung beschäftigt sich mit einer Auswahl von Themen aus den wesentlichen Bereichen Detektion, Schätztheorie und Zeitreihenanalyse. **Inhalt** Mögliche Themen dieser Veranstaltung sind Korrelationsanalyse, LMMSE Schätzer, Güteabschätzungen von Parameterschätzfunktionen, Neyman-Pearson Detektoren, im weiteren Sinne stationäre Zeitreihen, nichtstationäre Zeitreihen, periodisch stationäre Zeitreihen und komplexwertige Zufallssignale.

Contents of the course Verarbeitung statistischer Signale:
Short description
With the course Processing of Statistical Signals, students gain an understanding of the importance of descriptive and inferential statistics for many areas of electrical engineering. They consolidate their basic knowledge of probability calculus and statistics and gain an insight into estimation and detection theory, as well as statistical time series analysis. In addition, procedures are presented with the help of which estimated values obtained from data can be evaluated with regard to statistical significance. Knowledge of detection and estimation theory, as well as time series analysis, and critical evaluation of experimental results are essential for understanding and critically applying modern signal processing techniques.
Contents

- Random experiment, axiomatic notion of probability.
- Concept of random variables, distribution function, important distributions of discrete and continuous random variables, random variable transformation.
- Maximum likelihood parameter estimation, linear estimators, quality assessment of estimators, Cramer-Rao bound.
- Bayesian estimation, (L)MMSE estimation, special case Gaussian distribution
- Stochastic processes, stationarity, ergodicity, correlation function and power density spectrum, white noise, Markov chains
- Optimal filter according to Wiener, autoregressive processes
- Maximum-a-Posteriori and Neyman-Pearson decision rule, receiver operating characteristic, statistical hypothesis tests

Contents of the course Statistical Signal Processing:
Short Description
Statistical signal processing comprises the techniques that engineers and statisticians use to draw inference from imperfect and incomplete measurements. This course covers a selection of topics from the major domains of detection, estimation, and time series analysis.
Contents
Topics that may be covered in this course include correlation analysis, linear minimum mean-squared error estimation, performance bounds for parameter estimation, Neyman-Pearson detectors, wide-sense stationary, nonstationary and cyclostationary time series, and complex-valued random signals.

5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch des Moduls in der Lage, • Zufällige Größen oder Signale mit Methoden der statistischen Signalverarbeitung zu beschreiben • Eigenständig Berechnungen bzgl. Ausfallsicherheit, Trefferhäufigkeit etc. durchzuführen • Selbstständig Schätzverfahren für einfache Parameterschätzprobleme zu entwerfen und anzuwenden • Statistische Hypothesentests zu konstruieren und auf konkrete Fragestellungen anzuwenden • Die Randbedingungen für experimentelle Untersuchungen so zu definieren, dass die Ergebnisse zu belastbaren Aussagen führen • Neu gewonnene experimentelle Daten mit bestehenden Modellen zu vergleichen • Eine Korrelations- oder Spektralanalyse auf Zeitreihen anzuwenden • Optimalfilter für gegebene Fragestellungen zu entwerfen Nach dem Besuch dieses Moduls werden Studenten mit den Grundprinzipien der statistischen Signalverarbeitung vertraut sein. Sie verstehen, wie man Techniken der statistischen Signalverarbeitung in der Elektrotechnik einsetzen kann und sie können diese auf relevante Gebiete (wie z.B. in der Nachrichtentechnik) anwenden. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Die in dieser Veranstaltung gelernten Prinzipien können auf andere Gebiete angewandt werden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • Können die Methoden zur Beschreibung von Größen und Signalen als Zufallsvariablen bzw. Zufallsprozesse auf verschiedenste Fragestellungen aus dem Bereich der Elektro- und Informationstechnik anwenden. • Können die Leistungsfähigkeit, aber auch die Grenzen statistischer Methoden in den verschiedenen Anwendungen einschätzen • Sind sie in der Lage, Ergebnisse experimenteller Untersuchungen aus den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern kritisch zu bewerten und Experimente so zu entwerfen, dass deren Ergebnisse belastbare Aussagen zulassen. • Können Messergebnisse unter Nutzung moderner Programmsysteme auswerten • Können in einer Gruppe umfangreichere Aufgabenstellungen gemeinsam analysieren, in Teilaufgaben zerlegen und lösungsorientiert bearbeiten

Domain competence:
After attending the module, students will be able to,

- describe random variables or signals with methods of statistical signal processing
- independently perform calculations regarding reliability, hit frequency, etc.
- Design and apply estimation methods for simple parameter estimation problems.
- Construct statistical hypothesis tests and apply them to concrete problems
- Define the boundary conditions for experimental investigations in such a way that the results lead to reliable conclusions
- Compare newly obtained experimental data with existing models
- To apply a correlation or spectral analysis to time series
- To design optimal filters for given problems.

After attending this module, students will be familiar with the basic principles of statistical signal processing. They will understand how to use statistical signal processing techniques in electrical engineering and they will be able to apply them to relevant areas (such as in communications engineering). Students will develop the confidence to solve mathematical problems in analysis and design. The principles learned in this course can be applied to other fields.
Key qualifications:
Students will

- Are able to apply the methods of describing quantities and signals as random variables or random processes to a wide variety of problems in the field of electrical engineering and information technology.
- Are able to assess the power, but also the limitations of statistical methods in various applications.
- Are able to critically evaluate results of experimental investigations from various fields of application and to design experiments in such a way that their results allow reliable conclusions to be drawn.
- Are able to evaluate measurement results using modern program systems
- Are able to analyze extensive tasks in a group, break them down into subtasks and work on them in a solution-oriented manner.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a) - b)	Klausur oder mündliche Prüfung	120-180 min oder 30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a) - b)	Written or Oral Examination	120-180 min or 30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

	none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale:
Lehrveranstaltungsseite
`https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/verarbeitung-statistischer-signale`
Methodische Umsetzung

- Vorlesungen mit überwiegendem Tafeleinsatz, vereinzelt Folien-Präsentation
- Präsenzübungen mit Übungsblättern und Demonstrationen am Rechner
- Praktische Übungen mit Python, in denen Studierende eigenständig ein experimentelles Setup entwickeln und implementieren, sowie statistische Analysemethoden auf die gewonnenen Ergebnisse anwenden

Lernmaterialien, Literaturangaben
Bereitstellung eines Skripts, das im Laufe der Vorlesung kapitelweise ergänzt wird. Bereitstellung der Übungsaufgaben samt Musterlösungen und Beispielimplementierungen in Python
Weitere Literatur:

- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Estimation Theory, Prentice Hall, 1993
- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Detection Theory, Prentice Hall, 1998
- R. G. Gallager, Stochastic Processes — Theory for Applications, Cambridge University Press, 2013
- R. L. Schilling, Wahrscheinlichkeit — Stochastik von Abweichungen bis Zufall, De Gruyter, 2025
- N. Henze, Stochastik für Einsteiger, 11. Auflage, Springer Spektrum, 2017
- E. Hänsler, Statistische Signale — Grundlagen und Anwendungen, 3. Auflage, Springer, 2001
- J. L. Melsa, D. L. Cohn, Decision and Estimation Theory, McGraw-Hill, Kogakusha, 1987
- A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 2. Ausgabe, McGraw-Hill, New York, 1984

Hinweise der Lehrveranstaltung Statistical Signal Processing:
Lehrveranstaltungsseite
`http://sst.upb.de/teaching`
Methodische Umsetzung
Vorlesung und Übung
Lernmaterialien, Literaturangaben
Literature references are given in the first lecture.

Remarks of course Verarbeitung statistischer Signale:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/statistical-signal-processing`
Methodical implementation

- lectures with predominant use of blackboard, occasionally slide presentation
- Classroom exercises with exercise sheets and demonstrations on the computer
- Practical exercises with Python, in which students independently develop and implement an experimental setup, and apply statistical analysis methods to the obtained results

Learning materials, references
Provision of lecture notes, extended chapter by chapter during the course. Provision of exercise problems including sample solutions and example implementations in Python.
Further literature:

- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Estimation Theory, Prentice Hall, 1993
- S. M. Kay, Fundamentals of Statistical Signal Processing — Detection Theory, Prentice Hall, 1998
- R. G. Gallager, Stochastic Processes — Theory for Applications, Cambridge University Press, 2013
- R. L. Schilling, Wahrscheinlichkeit — Stochastik von Abweichungen bis Zufall, De Gruyter, 2025
- N. Henze, Stochastik für Einsteiger, 11th edition, Springer Spektrum, 2017
- E. Hänsler, Statistische Signale — Grundlagen und Anwendungen, 3rd edition, Springer, 2001
- J. L. Melsa, D. L. Cohn, Decision and Estimation Theory, McGraw-Hill, Kogakusha, 1987
- A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, 1984

Remarks of course Statistical Signal Processing:
Course Homepage
`http://sst.upb.de/teaching`
Implementation
Lectures and tutorials
Teaching Material, Literature
Literature references are given in the first lecture.

Analysis and Design of Electronic Circuits

Analysis and Design of Electronic Circuits

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.90107	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1. Semester	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.90107 Analysis and Design of Electronic Circuits	2V 2Ü, WS	60	120	P	90/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.90107 Analysis and Design of Electronic Circuits	2L 2Ex, WS	60	120	C	90/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Analysis and Design of Electronic Circuits:
Empfohlen:
Gute Kenntnisse in Differentialgleichungen, Laplace-Transformation, Fourier-Transformation, Analyse elektrischer Netze (Kirchhoffsche Gesetze, Norton-Äquivalent, Thevenin-Äquivalent, Übertragungsfunktionen, Bode-Diagramm usw.), Physik der Halbleiterbauelemente (Banddiagramm, Leitungsmechanismen in Halbleitern, Minoritäts- und Majoritätsladungsträger, Physik des pn-Übergangs, Physik der MOS-Kapazität)), Physik von Halbleiterbauelementen (Banddiagramm, Leitungsmechanismen in Halbleitern, Minoritäts- und Majoritätsladungsträger, n-Typ-, p-Typ-Halbleiter, Physik des pn-Übergangs, Physik der MOS-Kapazität), Halbleiterbauelemente (physikalische Funktionsweise und Bauelementgleichungen von pn-Diode, MOS-Transistor und bipolarem Transistor), grundlegende Kenntnisse der Digitaltechnik (boolesche Algebra, Wahrheitstabellen, kombinatorische Logik)

	None *Prerequisites of course Analysis and Design of Electronic Circuits:* **Recommended:** Good knowledge in differential equations, Laplace transform, Fourier transform, electrical network analysis (Kirchhoff's laws, Norton equivalent, Thevenin equivalent, transfer functions, Bode diagram etc.), semiconductor device physics (band diagram, conduction mechanisms in semiconductors, minority and majority charge carriers, n-type, p-type semiconductor, physics of pn junction, physics of MOS capacitance), semiconductor devices (physical operation and device equations of pn-diode, MOS transistor, and bipolar transistor), basic digital design (boolean algebra, truth tables, combinational logic)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Analysis and Design of Electronic Circuits:* Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Analyse und den Entwurf von analogen und digitalen Schaltungen und Systemen. Sie baut auf den Grundkenntnissen der elektronischen Bauelemente (Bachelor-Niveau) und den Pflichtvorlesungen "Fortgeschrittene Systemtheorie" und "Modellierung und Simulation" auf. Die Vorlesung stellt einen modernen Ansatz zur Analyse und zum Entwurf elektronischer Schaltungen und Systeme vor, der mathematische Analyse und Schaltungssimulation kombiniert. **Inhalte** • Nichtlineare Großsignalmodellierung von pn-Diode, Bipolar Junction Transistor (BJT) und MOS-Transistor • Nichtlineare Großsignalanalyse von Schaltungen mit Dioden, BJTs und MOS-Transistoren • Lineare Modellierung und Ein-/Zwei-Tor-Darstellung von Dioden, Transistoren und Verstärkern • Lineare Kleinsignalanalyse von BJT- und MOS-Transistor-Verstärkern • Analyse von Einzeltransistorverstärkern • Analyse von Differenzialverstärkern • Modellierung und Analyse von Operationsverstärkerschaltungen • CMOS-Logik • Analyse und Entwurf von kombinatorischen Logikschaltungen • Analyse und Entwurf von sequentiellen Logikschaltungen • Anwendungsbeispiele

	Contents of the course Analysis and Design of Electronic Circuits: **Short Description** The lecture gives an introduction to analysis and design of analog and digital circuits and systems. It builds on basic knowledge of electron devices (bachelor-level) and the compulsory lectures “Advanced System Theory” and “Modeling and Simulation”. The lecture presents a modern approach for analysis and design of electronic circuits and system which combines mathematical analysis and circuit simulation. **Contents** • Nonlinear, large-signal modeling of pn diode, bipolar junction transistor (BJT), and MOS transistor • Nonlinear, large-signal analysis of circuits with diodes, BJTs, MOS transistors • Linear modeling and one-/two-port representations of diodes, transistors, and amplifiers • Linear small-signal analysis of BJT and MOS transistor amplifiers • Single-transistor amplifier analysis • Differential amplifier analysis • Modeling and analysis of operational amplifier circuits • CMOS logic • Analysis and design of combinational logic circuits • Analysis and design of sequential logic circuits • Application examples
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachliche Kompetenz:** Die Studierenden sind in der Lage • geeignete Methoden zur Analyse und zum Entwurf von analogen Systemen zu beschreiben • geeignete Methoden für die Analyse und den Entwurf digitaler Systeme zu beschreiben • die Grenzen der verschiedenen Methoden zu beurteilen • das Verhalten von einfachen analogen und digitalen Schaltungen zu verstehen und zu berechnen • ein numerisches Simulationswerkzeug (SPICE) für elektronische Systeme und Schaltungssimulationen anzuwenden • typische Komponenten und Subsysteme beschreiben **Schlüsselqualifikationen:** Die Vorlesung vermittelt ein Verständnis für das Zusammenspiel verschiedener Modellierungstechniken, mathematischer Analyseansätze und numerischer Simulation sowie deren effektive Anwendung für den Entwurf elektronischer Systeme. Die Methoden für den analogen Elektronikentwurf sind übertragbar auf den Entwurf zeit- und amplitudenkontinuierlicher Systeme. Die Methoden für den digitalen Entwurf sind übertragbar auf den Entwurf zeit- und amplitudendiskreter Systeme.

Domain competence:
The students will be able to

- describe appropriate methods for analysis and design of analog systems
- describe appropriate methods for analysis and design of digital systems
- assess the limitations of the different methods
- understand and calculate the behaviour of simple analog and digital circuits
- use a numeric simulation tool for electronic systems and circuit simulation
- describe typical components and subsystems

Key qualifications:
The lecture conveys an understanding of the interaction of different modeling techniques, mathematical analysis approaches, and numerical simulation, as well as how to apply these effectively to the design of electronic systems. The methods for analog electronic design are transferrable to the design of continuous-time, continuous-amplitude systems. The methods for digital design are transferrable to the design of discrete-time, discrete-amplitude systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Analysis and Design of Electronic Circuits:* **Lehrveransatltungs-Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/circuit-and-system-design/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und händischen mathematischen Ableitungen über Tablet und Beamer • Ein Teil der Übungen als handschriftliche Rechenaufgaben mit Tablet und Beamer • Der zweite Teil der Übungen als praktische Entwurfsaufgaben unter Verwendung der LTspice-Simulation **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien und Videos; Übungsfolien. Zusätzliche Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben • Richard C. Jaeger, Travis N. Blalock, "Microelectronic Circuit Design", McGraw Hill, 4th edition, 2010 • Neil H. E. Weste, David Money Harris, "CMOS VLSI Design", Addison Wesley, 4th edition, 2010 *Remarks of course Analysis and Design of Electronic Circuits:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/circuit-and-system-design/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • One part of the exercises as handwritten calculation exercises using tablet and beamer • Other part of exercises as practical design tasks using using LTspice simulation **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos; Exercise slides. Additional literature references will be given in the first lecture • Richard C. Jaeger, Travis N. Blalock, "Microelectronic Circuit Design", McGraw Hill, 4th edition, 2010 • Neil H. E. Weste, David Money Harris, "CMOS VLSI Design", Addison Wesley, 4th edition, 2010

Projektgruppe			
Project Group			
Modulnummer / Module number: M.079.01290	**Workload (h):** 540	**Leistungspunkte / Credits:** 18	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 2-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 2	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.07099 Projektgruppe	PG	240	300	P	16

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.07099 Project Group	PG	240	300	C	16

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Das Modul Projektgruppe kann nicht als vorgezogene Leistung gemäß §12 Abs. 4 der Allgemeinen Bestimmungen gewählt werden.

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Projektgruppe:
Empfohlene Vorkenntnisse
Abhängig vom Thema.

The module Project Group cannot be chosen as an early performance according to §12 (4) of the General Regulations.

Prerequisites of course Projektgruppe:
Recommended Proficiencies
Depending on the topic.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Projektgruppe:* In einer Projektgruppe arbeitet eine Gruppe von in der Regel 8-16 Studierenden über einen Zeitraum von einem Jahr (zwei Semester) gemeinsam an einem vom Gruppenorganisator festgelegten Forschungsthema. Projektgruppen führen die Studierenden in aktuelle Forschungsthemen ein, die in der Regel mit dem speziellen Interessengebiet des Gruppenleiters zusammenhängen; die Teamarbeit der Projektgruppe soll eine Vorbereitung auf die industrielle Praxis sein. Die Themen der Projektgruppen decken das gesamte Spektrum der Forschungsinteressen der Forschungsgruppen des Fachbereichs Informatik ab. In der Regel werden die Projektgruppenmitglieder in Unterteams aufgeteilt. Das Team wählt einen Projektgruppenleiter, der die Arbeit des gesamten Teams steuert. Der Leiter ist für die interne Kommunikation und die Meldung möglicher Probleme an den Organisator der Gruppe verantwortlich. Die Teammitglieder treffen sich regelmäßig, um ihre Fortschritte mit dem Gruppenorganisator zu besprechen und über den aktuellen Stand ihrer Arbeit zu berichten. Die Teammitglieder bestehen dieses Modul erfolgreich, wenn sie den Quellcode und den Gruppenbericht einreichen und eine Abschlusspräsentation halten. Weitere Auflagen können vom Gruppenorganisator festgelegt werden. *Contents of the course Projektgruppe:* In a project group, a group of usually 8-16 students works together over a period of one year (two semesters) on a research topic determined by the group organizer. Project groups introduce students to current research topics that are usually related to the group organizer's special area of interest, and the team working of the project group should be a preparation for industrial practice. Topics of project groups cover the whole range of research interests of the research groups in the Department of Computer Science. Typically, the project group members are divided into subteams. The team selects a project group leader who controls the work of the whole team. The leader is responsible for internal communication and reporting potential issues to the group organizer. The team members meet regularly to discuss their progress with the group organizer and report on their current progress status. The team members successfully pass this module after submitting the source code and the group report, and providing the final presentation. Further constraints can be defined by the group organizer.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** In der Projektgruppe wird Teamarbeit und Organisation eines Projekts praktisch erprobt und erlernt; hierdurch werden die Teilnehmenden auf die spätere industrielle Berufspraxis vorbereitet. Die Studierenden lernen umfangreiche Entwicklungsprozesse im Team aus eigener Anschauung kennen. Durch die ausdrückliche Arbeitsteilung entsteht der Zwang, über eigene Arbeiten innerhalb der Gruppe zu berichten und die Ergebnisse zu vertreten. **Nichtkognitive Kompetenzen** • Einsatz und Engagement • Gruppenarbeit • Lernkompetenz • Lernmotivation • Motivationale und volitionale Fähigkeiten • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich) • Selbststeuerungskompetenz

In project groups, participating students gain first-hand practical experience in working in a team and organizing a project; in doing so, they become prepared for daily work in their later professions. The students personally experience how to carry out extensive development processes in a team. Since the tasks are divided among the individual team members, the participating students become skilled in reporting their progress and research findings to the other group members.
Non-cognitive Skills

- Commitment
- Team work
- Learning competence
- Learning motivation
- Motivation
- Literacy (scientific)
- Self-monitoring

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

□Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) ⊠Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Software mit Dokumentation, Referat		75%, 25%

Im Modul Projektgruppe sind regelmäßig Berichte über den Arbeitsfortschritt zu erstellen. Außerdem ist die erfolgreiche Bearbeitung von Projekten durch die Abgabe von Software und Dokumentation nachzuweisen. Die Ergebnisse der Projektarbeiten sind in einer Präsentation vorzustellen. Es wird eine Note für die Gesamtheit der Teilleistungen vergeben. Die Softwareprojekte mit Dokumentation bilden 75% der Modulnote, das Referat bildet 25% der Modulnote.

□Final module exam (MAP) □Module exam (MP) ⊠Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Software with documentation, presentation		75%, 25%

Im Modul Projektgruppe sind regelmäßig Berichte über den Arbeitsfortschritt zu erstellen. Außerdem ist die erfolgreiche Bearbeitung von Projekten durch die Abgabe von Software und Dokumentation nachzuweisen. Die Ergebnisse der Projektarbeiten sind in einer Präsentation vorzustellen. Es wird eine Note für die Gesamtheit der Teilleistungen vergeben. Die Softwareprojekte mit Dokumentation bilden 75% der Modulnote, das Referat bildet 25% der Modulnote.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Fortschrittsberichte oder Referate		SL

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Studienleistung konkret zu erbringen ist.

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Progress reports or presentations		CA

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the course achievement will be conducted.

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Voraussetzung für die Teilnahme an der Modulabschlussprüfung ist das Bestehen der Studienleistung über die Lehrveranstaltung “Projektgruppe”.

Prerequisite for the participation in the module final examination is the passing of the academic achievement on the course “Project Group”.

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Marco Platzner

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Projektgruppe:
Methodische Umsetzung

- Es finden Plenumstreffen (alle Teilnehmenden und der Veranstaltenden) statt, insbesondere zur Vermittlung gemeinsam erforderlichen Wissens (Seminarphasen zu Beginn der beiden Semester) und zur Planung der weiteren Arbeit.
- Es werden feste Verantwortlichkeiten zwischen den Teilnehmenden aufgeteilt, die über die gesamte Projektlaufzeit oder auch nur kurzfristig (ad-hoc-Aufgaben) Bestand haben können.
- Es werden Untergruppen zu einzelnen Themen gebildet, die selbständig und termingebunden Aufgaben vorantreiben und dem Plenum Rechenschaft ablegen müssen.
- Typischerweise erarbeitet jede Projektgruppe auch eine Repräsentation ihrer Arbeit in einer Webseite.
- Am Ende jedes der beiden Semester ist ein Bericht zu erstellen, der in jedem Aspekt von den Teilnehmenden gestaltet und mit Inhalt gefüllt wird.

Lernmaterialien, Literaturangaben
Abhängig vom Thema.

Remarks of course Projektgruppe:
Implementation method

- Developing knowledge on the selected systematic approaches, methods and tools relevant to the research topic, usually done in an introductory seminar phase.
- Logical assigning “jobs” (assigning responsibilities to the individual group members).
- Discovering and promoting the participants’ special individual talents, which are either already apparent or which can be developed throughout the project - such as through seminar presentations or appropriate job assignments.
- Setting up a process-oriented personnel structure, similar to the structure of an industrial design team; delegating subtasks to smaller subgroups who report their findings.
- Regular progress reports made by individuals and subgroups.
- Writing a highly distributed interim report and final report.

Learning Material, Literature
Depending on the topic.

Wissenschaftliches Arbeiten			
Scientific Work Style			
Modulnummer / Module number: M.048.42941	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 2. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.90801 Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik		30	30	P	15
b)	Seminar (CE)	S2	30	90	P	15

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.90801 Languages, Writing and Presentation Techniques		30	30	C	15
b)	Seminar (CE)	S2	30	90	C	15

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:
Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Seminar (CE):
Empfohlene Vorkenntnisse
Abhängig vom Seminarthema.

	None *Prerequisites of course Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* None *Prerequisites of course Seminar (CE):* **Recommended Proficiencies** Depending on the seminar topic.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* Die Studierenden wählen, je nach Vorkenntnissen und Interesse, aus dem Angebot der Universität Paderborn eine Veranstaltung aus dem Bereich moderne Sprachen, wissenschschaftliches Schreiben oder Präsentieren wissenschaftlicher Themen. *Inhalte der Lehrveranstaltung Seminar (CE):* Ein Seminar dient der vertieften, selbständigen Einarbeitung in einen komplexen wissenschaftlichen Sachverhalt, der dazu notwendigen Literaturrecherche, sowie der Präsentation der Ergebnisse in Wort und Schrift. Es dient ebenfalls dazu, Studierende mit den wesentlichen Mechanismen des Wissenschaftsbetriebs vertraut zu machen (Konferenzen, Begutachtungsprinzipien, . . .). Seminare werden von allen Dozenten angeboten; Themen wechseln dabei von Semester zu Semester und entstammen dem Forschungsgebiet des jeweiligen Dozenten. *Contents of the course Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* Depending on their previous knowledge and interest, students choose a course from the range of courses offered by the University of Paderborn in the field of modern languages, scientific writing or presenting scientific topics. *Contents of the course Seminar (CE):* A seminar is intended for in-depth, independent familiarization with a complex scientific issue, the necessary literature research, and the presentation of the results in spoken and written form. It also helps to familiarize students with the essential mechanisms of the scientific community (conferences, reviewing principles, . . .). Seminars are offered by all lecturers; topics change from semester to semester and originate from the research area of the respective lecturer.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Ziel des Moduls sind die Fertigkeiten, sich technische Sachverhalte selbständig aneignen und effizient und effektiv in Wort und Schrift kommunizieren zu können. Hierzu dient zum einen ein Seminar zu einem wissenschaftlichen Thema aus Computer Engineering; zum anderen ein frei wählbarer Kurs zu Kommunikation, beispielsweise ein Sprachkurs, ein Kurs zu technischem Schreiben, zu Präsentationstechnik o.ä. • Einsatz und Engagement • Kooperationskompetenz • Lernkompetenz • Medienkompetenz • Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)

The goal of this module is to enable students to autonomously familiarize themselves with complex technical and scientifc material and to effectively and efficiently communicate such material in speech and writing. To this end, the module comprises a seminar on scientific topics from computer engineering and an elective class on language, technical writing, presentation techniques, etc.

- Commitment and dedication
- Cooperation competence
- learning competence
- media competence
- Writing and reading competence (scientific)

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a) - b)	Referat	30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a) - b)	Presentation	30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)			QT
b)			

Qualifizierte Teilnahme zu der Lehrveranstaltung a) des Moduls gemäß § 39 Besondere Bestimmungen. Näheres zu Form und Umfang bzw. Dauer gibt die Lehrkraft spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt.

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)			QP
b)			

Qualified participation in the course a)of the module according to § 39 Special Regulations. Details on the form and scope or duration will be announced by the instructor within the first three weeks of the lecture period at the latest.

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist und die qualifizierte Teilnahme nachgewiesen wurde. The credit points are awarded after passing the module examination (MAP) and providing proof of the qualified participation.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Katrin Temmen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:* Anmeldehinweis: Bei der Lehrveranstaltung „Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik“ gehen wir aus pragmatischen Gründen wie folgt vor: Sie wählen aus dem gesamtuniversitären Angebot eine Veranstaltung, die zu den im Modulhandbuch angegebenen Randbedingungen passt, lassen sich Ihre erfolgreiche Teilnahme schriftlich bestätigen und reichen mir den Nachweis bis zum • WiSe: 31.03. oder • SoSe: 30.09. ein (Briefkasten neben P1.6.09.2 oder als pdf per Mail an Katrin.Temmen@upb.de). Ich veranlasse, dass dies in PAUL eingetragen wird. Bitte achten Sie darauf, dass auf dem Nachweis neben Ihrer Matrikelnummer auch das zugehörige Modul (Bachelor v2: L.048.90802 / M.079.0116; Bachelor v3 & v3b: L.048.90802 / M.079.01209; Master v3: L.048.90801 / M.048.42941) vermerkt ist. Katrin Temmen *Hinweise der Lehrveranstaltung Seminar (CE):* **Methodische Umsetzung** Seminare basieren auf einer Liste vorgegebener Themen, aus denen Studierende eine Auswahl treffen können. Nach einer Themenvergabe finden in der Regel einige Termine statt, um Literaturrecherche, Literaturauswahl, Präsentationstechnik, technisches Schreiben, etc. zu besprechen. Gleichzeitig beginnen Studierende mit der Literatursuche. In ständiger Interaktion mit dem Betreuer und den anderen Seminarteilnehmern wird durch einige Meilensteine eine Seminarausarbeitung und eine Präsentation entwickelt, die dann der Gruppe vorgestellt und diskutiert wird. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen.

Remarks of course Sprachen, Schreib- und Präsentationstechnik:
Registration Note: For the course “Languages, Writing and Presentation Techniques”, please proceed as follows for pragmatic reasons: Select a course from the overall university course program matching the conditions specified in the module handbook, obtain a written confirmation of your successful participation and pass this proof on to me (letterbox next to room P1.6.09.2 or pdf-file to Katrin.Temmen@upb.de) before start of

- Winter semester: by 31 March or
- Summer semester: by 30 September. I will then have this registered in PAUL. Please ensure that besides your matriculation number the respective module (Bachelor v2: L.048.90802 / M.079.0116; Bachelor v3 & v3b: L.048.90802 / M.079.01209; Master v3: L.048.90801 / M.048.42941) is also mentioned on the proof of registration. Katrin Temmen

Remarks of course Seminar (CE):
Implementation method
Seminars are based on a list of given topics from which students can make a selection. After a topic is assigned, there are usually a few appointments to discuss literature research, literature selection, presentation technique, technical writing, etc. At the same time, students begin the literature search. In constant interaction with the supervisor and the other seminar participants, a seminar paper and a presentation are developed through some milestones, which are then presented to the group and discussed.
Learning Material, Literature
Scientific publications.

2 Wahlpflichtbereich

2.1 Vertiefungsgebiet “Communication and Networks”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Communication and Networks / Communication and Networks
Module / Modules	* Advanced Distributed Algorithms and Data Structures * Information Theory * Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation * Machine Learning I * Modern Semiconductor Lasers * Optical Communication A * Optical Communication B * Optical Communication C * Optimale und Adaptive Filter * Optoelectronics * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * Theory and Design of Integrated Photonic Devices * Theory and Design of Phase-locked Loops * Topics in Signal Processing * Web Security
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Prüfungsform / Type of examination	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat / Written or Oral Examination or Presentation
Dauer bzw. Umfang / Duration or Scope	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min / 120-180 min or 30-45 min or 30 min

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Communication and Networks / Communication and Networks

Lernziele / Learning objectives

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich Kommunikation und Netzwerke.

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4006	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3	**Teilnahmevoraussetzungen** / **Admission requierements:** keine *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Empfohlene Vorkenntnisse** Algorithmen und Datenstrukturen, verteilte Algorithmen und Datenstrukturen none *Prerequisites of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Recommended Proficiencies** Algorithms and data structures, distributed algorithms and data structures
4	**Inhalte** / **Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* Nach einer kurzen Einführung in die Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie sowie der verteilten Programmierung stellt die Vorlesung fortgeschrittene Methoden für verteilte Algorithmen und Datenstrukturen vor. Themen sind unter anderem Zugriffskontrolle, Synchronisation, Konsensus, Informationsverbreitung, hybride Netze, Scheduling und Optimierung. Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. Die Vorlesung gibt eine Einführung in aktuelle, fortgeschrittene verteilte Algorithmen und Datenstrukturen. Neben der Präsentation der dafür notwendigen Protokolle werden diese auch rigoros auf ihre Korrektheit und Effizient hin analysiert. Die Vorlesung gliedert sich in folgende Kapitel: • Einführung • Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie • Zugriffskontrolle • Synchronisation • Konsensus • Informationsverbreitung • Hybride Netze • Scheduling • Optimierung Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt.

Contents of the course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
After a short introduction of the foundations of graph and network theory as well as distributed programs, the lecture presents advanced methods in the area of distributed algorithms and data structures. Topics covered in the course are access control, synchronization, consensus, information dissemination, hybrid networks, scheduling, and optimization. In addition to presenting solutions to these topics, also concrete applications will be presented.
The lecture gives an introduction to state-of-the-art advanced distributed algorithms and data structures. In addition to the presentation of the corresponding protocols, their correctness and efficienty will be shown in a rigorous way. The lecture is structured as follows:

- Introduction
- Fooundations of graph and network theory
- Access control
- Synchronization
- Consensus
- Information dissemination
- Hybrid networks
- Scheduling
- Optimization

In addition to presenting solution to these topics, also concrete applications will be presented.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- grundlegende analytische Techniken verstehen und anwenden,
- grundlegende algorithmische Ansätze erklären und anwenden,
- beurteilen, welche Auswirkungen diese Ansätze haben und
- die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Ansätze einschätzen.

Students will be able to

- understand and apply basic analytical techniques,
- explain and use basic algorithmic approaches,
- judge which effects these approaches have, and
- know the limits of using these approaches.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Scheideler

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung nutzt Tafelanschrieb und Folien sowie kleine Aufgaben für die Studierenden während der Vorlesung. Sie wird durch Tutorien begleitet. Studierende haben in den Tutorien Gelegenheit, Aufgaben in der Gruppe zu bearbeiten und Lösungen von Übungsblättern mit den Tutoren zu diskutieren. **Lernmaterialien, Literatur** • Foliensatz der Vorlesung; Übungsblätter • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben *Remarks of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Implementation Method** The lecture uses a blackboard and slides as well as small exercises for the students during the lecture. It will be supported by tutorial groups. Students have the opportunity in tutorial groups to work on problems in a group and to discuss solutions of the exercise sheets with the tutors. **Learning Material, Literature** • Slides of the lecture; exercise sheets • Additional literature will be announced in the course

Information Theory			
Information Theory			
Modulnummer / Module number: M.048.24021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 2.-4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.24021 Information Theory	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.24021 Information Theory	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Information Theory:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

None

Prerequisites of course Information Theory:
**Recommended:*
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Information Theory:* Informationstheorie ist die mathematische Grundlage moderner Kommunikation, Datenkompression und statistischer Inferenz. Ursprünglich von Claude Shannon entwickelt, quantifiziert sie Information, Unsicherheit und die fundamentalen Grenzen der Datenübertragung und -speicherung. Diese Lehrveranstaltung bietet eine fundierte Einführung in die Informationstheorie. Die Studierenden lernen zentralen Konzepte wie Entropie, Transinformation, relativen Entropie und typische Sequenzen und verstehen deren operationale Bedeutung in Kompressions- und Kommunikationssystemen. Die Veranstaltung behandelt verlustfreie und verlustbehaftete Quellenkodierung, Kanalkapazität sowie die fundamentalen Grenzen zuverlässiger Kommunikation über verrauschte Kanäle. Klassische Resultate wie das Quellenkodierungstheorem und das Kanalkodierungstheorem von Shannon werden hergeleitet. Großer Wert wird auf ein intuitives Verständnis der mathematischen Konzepte sowie auf die praktische Interpretation dieser Resultate im Kontext realer Systeme gelegt. Über Kommunikationssysteme hinaus beleuchtet die Lehrveranstaltung Verbindungen zu maschinellem Lernen, Statistik, Signalverarbeitung und vernetzten Systemen. *Contents of the course Information Theory:* Information theory is the mathematical foundation of modern communication, data compression, and statistical inference. Originally developed by Claude Shannon, information theory quantifies information, uncertainty, and the fundamental limits of data transmission and storage. This course provides a first rigorous introduction to information theory. Students will learn the core concepts of entropy, mutual information, relative entropy, and typicality, and understand their operational meaning in compression and communication systems. The course covers lossless and lossy source coding, channel capacity, and the fundamental limits of reliable communication over noisy channels. Classical results such as Shannon's source coding theorem and channel coding theorem are derived from first principles. Strong emphasis will be placed on an intuitive understanding of mathematical concepts and the practical interpretation of these results in the context of real-world systems. Beyond communication systems, the course highlights connections to machine learning, statistics, signal processing, and networked systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • die grundlegenden Problemstellungen, Modelle, Werkzeuge und Ergebnisse der Shannonschen Informationstheorie und ihre Einschränkungen zu erklären; • Informationsmaße und informationstheoretische Kenngrößen auf kommunikationstechnische Problemstellungen anzuwenden und ihre operationelle Bedeutung zu erläutern; • Zusammenhänge zwischen abstrakten kommunikationstheoretischen Modellen und realistischen physikalischen Systemen zu erklären und gezielt im Systementwurf einzusetzen; • wissenschaftliche Literatur im Bereich der Informationstheorie zu verstehen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können komplexe Problemstellung abstrahieren und in lösbare Teilprobleme zerlegen; • können Mathematik als universelle Beschreibungssprache der physikalischen Welt verstehen und anwenden; • können informationstheoretische Konzepte und Ergebnisse auf Fragestellungen außerhalb der Nachrichtentechnik übertragen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- explain fundamental questions, models, tools, and results of Shannon's information theory;
- apply information-theoretic measures to assess the quality processing blocks of communication systems and explain the operational meaning;
- explain the relationship between abstract communication-theoretic models and realistic physical systems and apply them purposefully in system design;
- understand scientific documents in information theory.

Key qualifications:
The students

- can abstract complex problems and decompose them into solvable subproblems;
- are able to understand and apply mathematics as a universal language for describing the physical world;
- can transfer information-theoretic concepts and results to problems beyond the field of communications engineering.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt: • Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen – Signale und Rauschen – Modulation und Demodulation – Übertragungsverhalten von Funksystemen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier) • Mischer • Oszillatoren • Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Machine Learning 1

Machine Learning 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4032	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

none

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie den gesamten Prozess des maschinellen Lernens. • können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens für Klassifizierung und Regression implementieren und in der Praxis anwenden. Gegebenenfalls können sie auch notwendige Anpassungen vornehmen. • verstehen praktische Tools für die Modellvalidierung und für das automatisierte maschinelle Lernen und können diese anwenden. • bewerten die Vor- und Nachteile des Einsatzes verschiedener Techniken des maschinelles Lernen in verschiedenen Situationen.

The students

- understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, and the complete machine learning pipeline.
- implement basic methods of supervised learning for classification and regression, apply them to real-world examples, and make necessary adaptations.
- understand and use practical tools for model validation and automated machine learning pipelines.
- assess the advantages and disadvantages of using various machine learning techniques in various situations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Modern Semiconductor Lasers			
Modern Semiconductor Lasers			
Modulnummer / Module number: M.048.26012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Empfohlen:
Vertrautheit mit grundlegenden Konzepten der Optik, Quantenmechanik und Halbleiterphysik ist jedoch sehr zu empfehlen.

None

Prerequisites of course Modern Semiconductor Lasers:
Recommended:
The familiarity with basic concepts from optics, quantum mechanics and semiconductor physics is highly recommended.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:* Halbleiterlaser sind zentrale Lichtquellen der modernen Photonik und ermöglichen Anwendungen, die von der optischen Kommunikation und Sensorik bis hin zu Quantentechnologien reichen. Neben einer Wiederholung der physikalischen Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs konzentriert sich dieser Kurs auf aktuelle Fortschritte und neue Entwicklungsrichtungen, die das Fachgebiet maßgeblich prägen. Die Teilnehmenden lernen neuartige Laserkonzepte kennen, die auf photonischen Kristallen, Nanophotonik, Spintronik, Topologie und nicht-hermitescher Physik basieren, sowie die theoretischen Ansätze, die zur Beschreibung dieser Bauelemente über die konventionelle Lasertheorie hinaus erforderlich sind. Zu den behandelten Themen gehören: • Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs: Verstärkungsmedien, Laserdynamik, Modulationsverhalten und Linienbreite • Modernste Halbleiterlaser-Technologien und deren Leistungsgrenzen • Oberflächenemittierende Laser auf Basis photonischer Kristalle (PCSELs) und skalierbare Einmoden-Hochleistungsemission • Nanolaser, Hohlraum-Quantenelektrodynamik (Cavity QED) und schwellenloser Laserbetrieb • Spinlaser und neue Ansätze zur ultraschnellen Informationskodierung • Laser auf Basis gebundener Zustände im Kontinuum (BIC) und topologische Laser • Aufstrebende Konzepte, darunter supersymmetrische, PT-symmetrische, Dirac-, polaritonische und plasmonische Laser • Fortgeschrittene theoretische Themen: nicht-hermitesche Effekte, Quantenrauschen, komplexe Verstärkungsmedien und moderne numerische Verfahren für großskalige Lasersysteme *Contents of the course Modern Semiconductor Lasers:* Semiconductor lasers are the key light sources of modern photonics, enabling applications ranging from optical communications and sensing to quantum technologies. While reviewing the fundamental principles of semiconductor laser operation, this course focuses on recent advances and emerging directions that are reshaping the field. Participants will explore novel laser concepts based on photonic crystals, nanophotonics, spintronics, topology, and non-Hermitian physics, as well as the theoretical frameworks required to describe these devices beyond conventional laser theory. Topics covered include: • Fundamentals of semiconductor laser operation: gain media, laser dynamics, modulation response, and linewidth • State-of-the-art semiconductor laser technologies and their performance limits • Photonic-crystal surface-emitting lasers (PCSELs) and scalable single-mode high-power emission • Nanolasers, cavity quantum electrodynamics, and thresholdless lasing • Spin lasers and new approaches to ultrafast information encoding • Bound-state-in-continuum (BIC) lasers and topological lasers • Emerging concepts including supersymmetric, PT-symmetric, Dirac, polaritonic, and plasmonic lasers • Advanced theoretical topics: non-Hermitian effects, quantum noise, complex gain media, and modern computational approaches for large-scale laser systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Kurses sind die Teilnehmenden in der Lage, die physikalischen Prinzipien zu erläutern, die dem Betrieb von Halbleiterlasern zugrunde liegen – einschließlich optischer Verstärkung, Laserdynamik, Modulationsverhalten und der Ursachen der Linienbreite. Sie können etablierte Halbleiterlaser-Technologien analysieren und vergleichen sowie deren Leistungsgrenzen bewerten. Darüber hinaus entwickeln die Teilnehmenden ein kritisches Verständnis für neuartige Laserkonzepte – wie etwa photonische Kristalllaser, Nanolaser, Spinlaser, BIC-Laser und topologische Laser – und können deren Funktionsweise mit aktuellen Konzepten der Photonik wie der Hohlraum-Quantenelektrodynamik, der nicht-hermiteschen Physik und der Topologie in Zusammenhang bringen. Schließlich machen sich die Teilnehmenden mit fortgeschrittenen theoretischen und numerischen Methoden zur Beschreibung moderner Halbleiterlaser vertraut und sind in der Lage, die aktuelle Forschungsliteratur auf diesem sich rasch entwickelnden Gebiet zu beurteilen.

Upon successful completion of this course, participants will be able to explain the physical principles governing semiconductor laser operation, including optical gain, laser dynamics, modulation response, and origin of linewidth. They will be able to analyze and compare established semiconductor laser technologies and evaluate their performance limitations. Furthermore, participants will develop a critical understanding of emerging laser concepts, including photonic-crystal, nano-, spin-, BIC, and topological lasers, and will be able to relate their operation to contemporary concepts in photonics such as cavity quantum electrodynamics, non-Hermitian physics, and topology. Finally, participants will gain familiarity with advanced theoretical and computational approaches used to describe modern semiconductor lasers and will be able to assess current research literature in this rapidly evolving field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

	None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mariusz Drong
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optical Communication A			
Optical Communication A			
Modulnummer / Module number: M.048.92019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92019 Optical Communication A	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92019 Optical Communication A	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication A:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication A:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication A:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optische Nachrichtentechnik A vermittelt Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Optischen Nachrichtentechnik und der hierbei verwendeten optischen Komponenten. **Inhalt** Maxwell-Gleichungen, Wellenausbreitung, Polarisation, dielektrische Schichtwellenleiter und kreiszylindrische Wellenleiter, Dispersion, Laser, Photodioden, optische Verstärker, Modulation, Signalformate, optische Empfänger, Rauschen, Regeneratoren, Wellenlängenmultiplex. Hier werden die wichtigsten Zusammenhänge vermittelt. *Contents of the course Optical Communication A:* **Short Description** The lecture Optical Communication A gives basic knowledge in Optical Communication and the components used in this field. **Contents** Maxwell's equations, wave propagation, polarization, dielectric slab and cylindrical waveguides, dispersion, laser, photodiodes, optical amplifiers, modulation, signal formats, optical receivers, noise, regenerators, wavelength division multiplex. Here the most important knowledge is taught.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden **Professional Competence** After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to • describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and • apply knowledge of optoelectronics **(Soft) Skills** The students • are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines, • are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and • are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Reinhold Noé

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication A:
Lehrveranstaltungsseite
`http://ont.upb.de`
Lernmaterialien, Literaturangaben
Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug):

- R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication A:
Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optical Communication B			
Optical Communication B			
Modulnummer / Module number: M.048.92020	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92020 Optical Communication B	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92020 Optical Communication B	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication B:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication B:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication B:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optische Nachrichtentechnik B vermittelt Kenntnisse auf dem Gebiet der Modenkopplung in der Optischen Nachrichtentechnik und erklärt damit die Funktion vieler optischer Komponenten. **Inhalt** Modenkopplung: Polarisationsmodendispersion, Modenorthogonalität, konstante und periodische, ko- und kontradirektionale Modenkopplung, Profile differentieller Gruppenlaufzeit, elektrooptischer Effekt. Die Funktion vieler passiver und aktiver optischer Elemente wird so erklärt, u.a. Amplituden- und Phasenmodulatoren, breitbandige und wellenlängenselektive Koppler, Bragg-Gitter, polarisationserhaltende Lichtwellenleiter, Polarisationstransformatoren, Entzerrer für Polarisationsmodendispersion und chromatische Dispersion. *Contents of the course Optical Communication B:* **Short Description** The lecture Optical Communication B gives some knowledge about mode coupling in Optical Communication and explains the function of many optical components. **Contents** Mode Coupling: Polarization mode dispersion, moden orthogonality, constant and periodic, co- and counterdirectional mode coupling, profiles of differential group delay, electrooptic effect. The function of many passive and active optical elements is thereby explained, among others amplitude and phase modulators, broadband and wavelength-selective couplers, Bragg gratings, polarization-maintaining fibers, polarization transformers, equalizers for polarization mode dispersion and chromatic dispersion.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einsetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Professional Competence
After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to

- describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and
- apply knowledge of optoelectronics

(Soft) Skills
The students

- are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines,
- are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and
- are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Reinhold Noé
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication B:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `http://ont.upb.de` **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication B:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optical Communication C

Optical Communication C

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.92021	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92021 Optical Communication C	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92021 Optical Communication C	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication C:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication C:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication C:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung und Übung Optische Nachrichtentechnik C vermittelt Kenntnisse über verschiedene optische Modulations- und Demodulationsverfahren. **Inhalt** Modulationsverfahren: Datenübertragung mit differentieller binärer und quaternärer Phasenumtastung und optischen Verstärkern, Polarisationsmultiplex, kohärente optische Datenübertragung, Synchrondemodulation, Asynchrondemodulation, kohärente Basisbandempfänger, Polarisationsdiversität, elektronische Kompensation optischer Verzerrungen wie z.B. elektronische Polarisationregelung und elektronische Kompensation von Polarisationsmodendispersion und chromatischer Dispersion, Phasenrauschen, weitere Modulationsverfahren. Fortschrittliche Modulationsverfahren sind eine wichtige Möglichkeit zur Weiterentwicklung leistungsfähiger optischer Nachrichtenübertragungssysteme. *Contents of the course Optical Communication C:* **Short Description** The lecture Optical Communication C gives knowledge in various optical modulation and demodulation techniques. **Contents** Modulation Formats: Data transmission by differential binary and quaternary phase shift keying in the presence of optical amplifiers, polarization division multiplex, coherent optical data transmission, synchronous and asynchronous demodulation, coherent baseband receivers, polarization diversity, electronic compensators of optical distortions like electronic polarization control and electronic compensation of polarization mode dispersion and chromatic dispersion, phase noise, other modulation formats. Advanced modulation formats are an important possibility for the upgrading of high-performance optical information transmission systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einsetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Professional Competence
After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to

- describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and
- apply knowledge of optoelectronics

(Soft) Skills
The students

- are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines,
- are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and
- are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Reinhold Noé
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication C:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication C:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optimale und Adaptive Filter			
Optimal and Adaptive Filters			
Modulnummer / Module number: M.048.24010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.24010 Optimale und Adaptive Filter	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.24010 Optimal and Adaptive Filters	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus den Modulen Höhere Mathematik und Digitale Signalverarbeitung.

None

Prerequisites of course Optimale und Adaptive Filter:
Recommended: Prior knowledge from the modules Higher Mathematics and Digital Signal Processing.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung „Optimale und adaptive Filter“ führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur adaptiven Filterung ein. Aufbauend auf den Grundlagen der Schätztheorie werden zunächst optimale Filter diskutiert. Anschließend werden die Wiener Filter Theorie, die deterministische Optimierung unter Randbedingungen und die stochastischen Gradientenverfahren betrachtet. Abschließend werden der Least Squares Ansatz zur Lösung von Filteraufgaben und der Kalman Filter vorgestellt. Letzterer ist als Einführung in das Themengebiet der zustandsbasierten Filterung anzusehen.
Inhalt

- Klassische Parameterschätzung
  - Schätzung und Schätzer
  - MMSE-Schätzung
  - Lineare Schätzer
  - Orthogonalitätsprinzip
  - Bewertung der Güte von Schätzern
- Wiener Filterung
  - Wiener-Hopf Gleichung
  - AR- und MA-Prozesse
  - Lineare Prädiktion
- Iterative Optimierunsverfahren
  - Gradientenan/abstieg
  - Newton-Verfahren
- Lineare adaptive Filterung
  - LMS-Algorithmus
  - Least-Squares Methode
  - Blockweise und rekursive adaptive Filter
  - Realisierungsaspekte
- Zustandsmodellbasierte Filter
  - Kalman Filter
- Anwendungen
  - Systemidentifikation
  - Kanalschätzung und -entzerrung
  - Mehrkanalige Sprachsignalverarbeitung
  - Geräusch- und Interferenzunterdrückung

Contents of the course Optimale und Adaptive Filter:
Short Description
The course “Optimal and adaptive filters” gives an introduction to the basic techniques and theories of adaptive filters. Based upon the basics of estimation theory optimal filters are discussed. Subsequently the topics Wiener filter theory, deterministic optimization under constraints and stochastic gradient methods are regarded. Concluding the Least Squares approach for solving filter tasks and the Kalman filter are introduced. The latter is regarded as a brief introduction to state based filters.
Contents

- Classic parameter estimation
  - Estimators
  - MMSE-Estimation
  - Linear estimators
  - Orthogonality principle
  - Evaluation of estimators
- Wiener filter
  - Wiener-Hopf equation
  - AR- and MA processes
  - Linear prediction
- Iterative optimization methods
  - Gradient ascent/descent
  - Newton method
- Linear adaptive filters
  - LMS algorithm
  - Least-Squares method
  - Blockwise and recursive adaptiv filters
  - Realization aspects
- Statemodel based filters
  - Kalman filter
- Applications
  - System identification
  - Channel estimation and equalization
  - Multi-channel speech signal processing
  - Noise and interference suppression

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Problemstellungen im Bereich der adaptiven Filterung zu analysieren und Anforderungen mathematisch zu formulieren
- Filter anhand von Kostenfunktionen zu entwickeln und
- ausgewählte adaptive Filter im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können theoretische Ergebnisse in praktische Realisierungen überprüfen,
- können theoretische Ansätze mittels methodenorientiertem Vorgehen einer systematischen Analyse unterziehen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze task on the field of adaptive filters and to formulate requirements mathematically,
- develop filter using cost functions and
- implement selected adaptive filters in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to check theoretical results using practical realizations,
- are able to undertake theoretical approaches a systematic analysis using methodical procedures and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/optimale-und-adaptive-filter` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

	Remarks of course Optimale und Adaptive Filter: **Course Homepage** `https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/optimal-and-adaptive-filter` **Implementation** • Lectures using the blackboard and presentations, • Alternating theoretical and practical exercises classes with exercise sheets and computer and • Demonstration of real technical systems in the lecture hall. **Teaching Material, Literature** Allocation of a script; information on textbooks; matlab scripts

Optoelectronics			
Optoelectronics			
Modulnummer / Module number: M.048.26011	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optoelectronics:
Keine

None

Prerequisites of course Optoelectronics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optoelectronics:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optoelectronics vermittelt alle grundlegenden Aspekte optoelektronischer Bauelemente, beginnend bei den Halbleitermaterialien und deren Wechselwirkung mit Licht bzw. Photonen, über die elektronischen Aspekte der Bauelemente bis hin zur Nutzung quantenmechanischer Effekte zur Optimierung moderner Bauelemente für die jeweiligen Anwendungsgebiete, wie z.B. in Beleuchtungssystemen, zur Bereitstellung erneuerbarer Energie, für breitbandige optische Kommunikationssysteme oder in der Medizintechnik. **Inhalt** Im ersten Teil der Vorlesung werden die Grundlagen von Halbleitern (Gitterstruktur, Bandstruktur, direkt-indirekte Halbleiter, Dotierung, entartete und nicht entartete Halbleiter, Heterostrukturen, Quanteneffekte in niederdimensionalen Halbleitern) rekapituliert. Anschließend werden die elementaren Wechselwirkungen zwischen Licht und Halbleitern (Absorption, stimulierte Emission, spontane Emission) und die elektronischen Aspekte der Bauelemente (p-n-Übergang, Heteroübergänge) behandelt. Anschließend werden die wichtigsten Bauelemente: Solarzellen, Photodioden, Leuchtdioden und Halbleiterlaser detailliert besprochen und ihre wichtigsten Parameter und Optimierungsstrategien diskutiert. *Contents of the course Optoelectronics:* **Short description** The lecture Optoelectronics covers the fundamental aspects of optoelectronic devices, starting with semiconductor materials and their interaction with light and photons, to the electronic aspects of the components, and finally to the use of quantum mechanical effects to optimise modern components for their respective areas of application, such as in lighting systems, renewable energy, broadband optical communication systems or in medical technology. **Contents** In the first part of the lecture, the basics of semiconductors (lattice structure, band structure, direct-indirect semiconductors, doping, degenerate and non-degenerate semiconductors, heterostructures, quantum effects in low-dimensional semiconductors) are recapitulated. The elementary interactions between light and semiconductors (absorption, stimulated emission, spontaneous emission) and the electronic aspects of the components (p-n junction, heterojunctions) are then covered. Finally, the most important devices such as solar cells, photodiodes, light-emitting diodes and semiconductor lasers are discussed in detail and their most important parameters and optimisation strategies are explained.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die grundlegenden physikalischen Eigenschaften von optoelektronischen Halbleiterbauelementen auf der Grundlage klassischer und grundlegender quantenmechanischer Beschreibungen zu erklären,
- die wichtigsten Konzepte von optoelektronischen Halbleiterbauelementen (Fotodioden, Solarzellen, Leuchtdioden, Halbleiterlaser) zu beschreiben,
- und verschiedene Bauelementdesigns entsprechend ihren Anwendungsanforderungen zu kategorisieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können methodisches Wissen für die systematische Problemanalyse in einer Vielzahl von Disziplinen nutzen,
- werden in der Lage sein, sich dank der umfassenden Grundausbildung selbstständig in neue Generationen von Halbleiterbauelementen einzuarbeiten,
- werden mit Ratengleichungsmodellen zur Simulation stationärer und dynamischer Eigenschaften in gekoppelten Systemen vertraut gemacht,
- und erwerben fachbezogene Fremdsprachenkompetenzen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- explain the basic physical properties of optoelectronic semiconductor devices based on classical and fundamental quantum mechanical descriptions,
- to describe the main concepts of optoelectronic semiconductor devices (photodiodes, solar cells, light emitting diodes, semiconductor lasers),
- categorize different device designs according to their application requirements.

Key qualifications:
The students

- can use of methodic knowledge for systematic problem analysis for a wide range of disciplines,
- will be in position to familiarise themselves independently with new generations of semiconductor devices, thanks to the comprehensive fundamental training received,
- get familiar to rate-equation models to simulate steady-state and dynamic characteristics in coupled systems,
- and gain foreign language competences related to the field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Nils Christopher Gerhardt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Lehrveranstaltungsseite** [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Modulseite** wird bei Vorlesungsstart bekannt gegeben **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsskript und Handouts zum Tutorial; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Course Homepage [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Module Homepage** to be announced at the start of the lecture **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture notes and handouts for the tutorial; literature references will be given in the first lecture

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.25019	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
de / en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Modulnummer / Module number: M.048.26013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-.3 Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:
Empfohlen:

- Wissen über elektromagnetische Felder und Wellen
- Erfahrung mit MATLAB-/Python-Skripting wäre von Vorteil

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* **Recommended:** Knowledge on electromagnetic fields and waves Experience with MATLAB/Python scripting would be beneficial
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* • Einführung – Historische Entwicklung der integrierten Photonik und ihre heutige Bedeutung – Kurzer Überblick über die erforderlichen theoretischen Grundlagen * Elektromagnetische Wellen und Maxwell-Gleichungen * Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in verschiedenen Medien • Theorie optischer Wellenleiter: Bauelement Nr. 0 – Analyse eindimensionaler (1D) Wellenleiter * Strahlenoptisches Modell * Vektorwellengleichung und Randbedingungen – Analyse zweidimensionaler (2D) Wellenleiter * Überblick über Wellenleiterplattformen und die Methode des effektiven Brechungsindex * Überblick über die vollvektorielle Methode * Dispersion, Polarisation und Orthogonalität geführter Moden • Theorie gekoppelter Moden: analytische Formulierung • Passive integriert-photonische Bauelemente – Richtkoppler (DC): Bauelement Nr. 1 – Multimoden-Interferometer (MMI): Bauelement Nr. 2 – Verteilter Bragg-Reflektor (DBR): Bauelement Nr. 3 • Abstimmbare/aktive integriert-photonische Bauelemente – Mach-Zehnder-Interferometer (MZI) / -Modulator (MZM): Bauelement Nr. 4 – Mikroringresonatoren (MRR) / -Modulator (MRM): Bauelement Nr. 5 – Überblick über Phasenschieber: thermisch, elektro-optisch und MEMS-basiert • Fertigungsvariabilität und Toleranzen integriert-photonischer Bauelemente • Überblick über die Analyse photonischer integrierter Schaltkreise (PICs), Einführung in die Kompaktmodellierung und die elektronisch-photonische Entwurfsautomatisierung (EPDA)

Contents of the course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:

- Introduction
  - Historical evolution of integrated photonics and relevance in today's world
  - Brief overview on the required background theory
    - Electromagnetic waves and Maxwell's equations
    - EM waves propagation in different media
- Theory of optical waveguides: Device #0
  - 1-D waveguide analysis
    - Ray optics model
    - Vector wave equation and boundary conditions
  - 2-D waveguide analysis
    - Overview of waveguide platforms and effective index method
    - Overview of the full vectorial method
    - Dispersion, polarization and orthogonality of guided modes
- Coupled-mode theory: analytical formulation
- Passive integrated photonic devices
  - Directional coupler (DC): Device #1
  - Multi-mode interferometers (MMI) : Device #2
  - Distributed Bragg reflector (DBR): Device #3
- Tunable/active integrated photonic devices
  - Mach-Zehnder interferometer (MZI) / modulator (MZM): Device #4
  - Microring resonators (MRR) / modulator (MRM): Device #5
  - Overview of phase shifters: thermal, electro-optic and MEMS-based
- Fabrication variability and tolerances of the integrated photonic devices
- Overview of photonic integrated circuit (PIC) analysis, introduction to compact-modeling and electronic-photonic design automation (EPDA)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis der Funktionsweise und der theoretischen Grundlagen integrierter photonischer Bauelemente, der bei deren Design bestehenden Einschränkungen sowie der Strategien zu deren Überwindung.

Understanding the working and fundamental theory of integrated photonic devices, constraints involved in the device designs and overcoming strategies.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Ashitosh Velamuri
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Theory and Design of Phase-locked Loops			
Theory and Design of Phase-locked Loops			
Modulnummer / Module number: M.048.24020	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:
Empfohlen:

- Fortgeschrittene Signaltheorie
- Statistische Signalverarbeitung (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Bachelor-Lehrplan)
- Schaltungs- und Systementwurf (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Lehrplan im Bachelorstudium

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Phase-locked Loops:* **Recommended:** • Advanced Signal Theory • Statistical Signal Processing (or another course with comparable syllabus in their bachelor) • Circuit and system design (or another course with comparable syllabus in their bachelor)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:* Kapitel 1: Motivation • Definition von Zeit und Frequenz – Definition in SI-Einheiten – statischer Frequenzfehler • Zufallsschwankungen – Amplituden-/Phasenrauschen (AM/PM) Kapitel 2: Mathematischer Formalismus von Signalen • Basisband- und Bandpass-Signale • Zeit- und Frequenzbereich Kapitel 3: Einführung in Zufallsprozesse • Basisband-Zufallsprozesse und Rauschen – Korrelationsfunktionen im Zeit- und Frequenzbereich – einige Basisband-Zufallsprozesse (thermisches Rauschen, Schrotrauschen, Flickerrauschen . . .) • Bandpass-Zufallsprozesse – Korrelationsfunktionen – Beziehung zu Basisbandprozessen – Phasenrauschen und Amplitudenrauschen Kapitel 4: PLL-Bausteine • Phasendetektor – Phasendetektor-Modell – Phasenrauschen des Phasendetektors • VCO – VCO-Modell – Phasenrauschen des VCO • Frequenzumsetzer – Frequenzteiler – Frequenzmultiplikator – Phasenrauschen von Frequenzumsetzern • Entwurf von PLL-Blöcken auf Transistorebene Kapitel 5: Integer N PLLs: – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen Kapitel 6: Fractional PLLs – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen

Contents of the course Theory and Design of Phase-locked Loops:
Chapter 1: Motivation

- Time and frequency definition – definition in SI units – static frequency error
- random fluctuations – Amplitude/Phase (AM/PM) noise

Chapter 2: Mathematical formalism of signals

- baseband and bandpass signals
- time and frequency domain

Chapter 3: introduction to random processes

- baseband random processes and noise – correlation functions in time and frequency domain – some basedband random processes (thermal noise, shot noise, flicker noise . . .)
- bandpass random processes – correlation functions – relation to baseband processes – phase noise and amplitude noise

Chapter 4: PLL building blocks

- Phase detector – Phase detector model – phase noise of phase detector
- VCO – VCO model – phase noise of VCO
- Frequency translators – frequency divider – frequency multiplier – phase noise of frequency translators
- transistor level design of PLL blocks

Chapter 5: Integer N PLLs: – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies
Chapter 6: Fractional PLLs – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis des statischen/dynamischen Fehlers in Frequenznormalen. Mathematische Modellierung von Amplituden-/Phasenrauschen. Modellierung von Zufallsprozessen im Zeit- und Frequenzbereich. Grundlegende und moderne PLL-Architektur und ihre Bausteine. Systematischer Entwurf von PLLs. Entwurf und Modellierung von Integer/Fractional N PLL.

Understanding of static/dynamic error in frequency standards. Mathematical modeling of amplitude/phase noise. Modeling random processes in time and frequency domain. Basic and modern PLL architecture and its building blocks. Systematic design of PLLs. Design and Modeling of Integer/Fractional N PLL.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Meysam Bahmanian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Module Homepage `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Topics in Signal Processing			
Topics in Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.92014	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Empfohlen: Signal- und Systemtheorie, mindestens Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie und linearen Algebra

None

Prerequisites of course Topics in Signal Processing:
Recommended: Signal and system theory, at least a basic understanding of probability and linear algebra

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Kurzbeschreibung
Diese Veranstaltung behandelt eine Auswahl von aktuellen Themen in der Signalverarbeitung. Ein Teil der Veranstaltung besteht aus regulären Vorlesungen, wohingegen der andere aktive Mitarbeit von Studenten voraussetzt.
Inhalt
Zunächst werden in diesem Kurs relevante Aspekte aus der linearen Algebra und Wahrscheinlichkeitstheorie wiederholt. Danach werden Studenten angeleitet, aktuelle Veröffentlichungen aus der Signalverarbeitungsliteratur zu lesen, zu analysieren und dann auch zu präsentieren.

Contents of the course Topics in Signal Processing:
Short Description
This course covers a selection of current topics in signal processing. One part of this course will follow a regular lecture format, while the other part will require active student participation.
Contents
This course will first review relevant aspects of linear algebra and probability theory. Then students will learn how to read, analyze, and present recent papers from the signal processing literature.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

In dieser Veranstaltung werden Studenten mit aktuellen Forschungsthemen in der Signalverarbeitung vertraut gemacht. Studenten lernen, wissenschaftliche Veröffentlichungen zu verstehen und kritisch zu bewerten. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Die in dieser Veranstaltung gelernten Prinzipien können auf andere Gebiete angewandt werden.

In this course, students will familiarize themselves with some current research topics in signal processing. They will learn to read and understand scientific publications and to critically evaluate results. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. They will be able to apply the principles they have learnt in this course to other areas.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

	none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Peter Schreier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Übung mit aktiver Beteiligung der Studenten, Präsentationen von Studenten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben. *Remarks of course Topics in Signal Processing:* **Course Homepage** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Implementation** Lectures and tutorials with active student participation, student presentations **Teaching Material, Literature** References will be given in the first lecture.

Web Security			
Web Security			
Modulnummer / Module number: M.079.4073	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05809 Web Security	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05809 Web Security	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Web Security:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Basiskenntnisse in Kryptographie

none

Prerequisites of course Web Security:
Recommended Proficiencies
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Web Security:* Moderne Webapplikationen und Webservices sind oft vielschichtig und basieren auf unterschiedlichen (oft komplexen) Technologien, die ständig weiterentwickelt werden. Deren Komplexität ist oft der Grund für neuartige Angriffe, die im Web-Bereich täglich zu sehen sind. In dieser Vorlesung werden wir auf die wichtigsten Technologien eingehen und lernen, worauf man bei der sicheren Web-Entwicklung achten muss. Dabei werden wir prominente und weit verbreitete Angriffe vorstellen und zeigen, wie man die verhindert. Dazu gehören typische Angriffe aus der OWASP Top 10 Liste wie XSS oder SQL Injection bis hin zu Angriffen auf Webservices und Single Sign-On Standards (wie SAML und OpenID Connect). Basierend auf vielen Fällen werden wir lernen, was beim Design und bei der Implementierung von Webapplikationen wichtig ist. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Einführung in Web Technologien • Web Angriffe – Cross-Site Scripting (XSS) – Cross-Site Request Forgery (CSRF) – Clickjacking – SQL injection • XML und SAML – Angriffe auf XML Parser – Angriffe auf XML Signatur • JSON und OpenID Connect (OIDC) – Angriffe auf OIDC

	Contents of the course Web Security: Modern web applications and web services usually consist of multiple layers. They are based on different (often complex) technologies that are constantly being developed. Their complexity is often the reason for new types of attacks that can be observed on the web every day. In this lecture, we will focus on the most important technologies and learn what you have to consider while securing your web applications. We will introduce prominent and widespread attacks and show how to prevent them. These range from typical attacks from the OWASP Top 10 list, such as XSS or SQL Injection, to attacks on web services and Single Sign-On standards (e.g., on SAML and OpenID Connect). Based on many cases, we will learn what is important in the design and implementation of secure web applications. The course includes the following contents: • Introduction to web technologies • Web Attacks – Cross-Site Scripting (XSS) – Cross-Site Request Forgery (CSRF) – Clickjacking – SQL injection • XML and SAML – Attacks on XML parsers – Attacks on XML Signature • JSON and OpenID Connect (OIDC) – Attacks on OIDC
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • Sicherheitskonzepte hinter Web-Applikationen verstehen • gängige Angriffe auf Web-Applikationen verstehen und verhindern • praktische Analysen von Web-Applikationen mit gängigen Werkzeugen durchführen • Implementierungsfehler und sicherheitstechnische Probleme in Web-Applikationen erkennen und bewerten Students will be able to • Understand security concepts behind web applications • Understand and prevent common attacks on web applications • Carry out practical analyses of web applications with common tools • Identify and assess implementation errors and security problems in web applications

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Juraj Somorovsky
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Web Security:* **Methodische Umsetzung:** Die Inhalte werden durch eine Präsentation in Form einer Vorlesung mit Beamer vermittelt. Dazu werden sie durch individuelle praktische Aufgaben vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben:** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Wissenschaftliche Literatur • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Web Security:* **Implementation method:** The topics are conveyed through lecture presentations. They are further deepened through individual practical tasks. **Learning Material, Literature:** • Lecture slides and exercise sheets • Scientific literature • Additional literature will be announced in the course.

Wireless Communications

Wireless Communications

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.24022	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	2.-4. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30 / 30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30 / 30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Wireless Communications:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

Prerequisites of course Wireless Communications:
Recommended:
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, Signal Theory, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Wireless Communications:* Die Veranstaltung vermittelt den Studierenden wichtige Grundkenntnisse, die für das Verständnis der Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme notwendig sind. Ausgehend von einem physikalischen Verständnis des Mobilfunkkanals, insbesondere der Phänomene Mehrwegeausbreitung und Dopplereffekt, wird die physikalische und statistische Modellierung von zeitvarianten Kommunikationssystemen dargestellt. Anschließend werden wichtige Diversitätsverfahren zur kanalangepassten Übertragung sowie Mehrfachzugriffsverfahren vorgestellt. *Contents of the course Wireless Communications:* The course provides students with important basic knowledge necessary for understanding the transmission concepts of modern mobile communication systems. Starting with a physical understanding of the mobile communications channel, in particular the phenomena of multipath propagation and the Doppler effect, the physical and statistical modeling of time-varying communication systems is presented. Subsequently, important diversity techniques for channel-adaptive transmission and multiple access techniques are introduced.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • grundlegende Ausbreitungsmechanismen im Mobilfunkkanal zu erklären; • physikalische und statistische Modelle zeitvarianter Kommunikationskanälen zu beschreiben und verwenden; • Fading-Prozesse zu analysieren und ihre Auswirkung auf die Übertragungszuverlässigkeit zu bewerten; • Diversitätsverfahren und ihre Bedeutung für robuste drahtlose Übertragungen zu erläutern; • gängige Mehrfachzugriffsverfahren zu erklären, vergleichen und bewerten; • Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme zu beurteilen; • theoretische Kanalmodelle mit praktischen Aspekten des Systementwurfs zu verknüpfen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • haben ausgeprägte analytische und mathematische Kompetenzen; • können komplexe physikalische Phänomene in ingenieurwissenschaftlichen Modellen abstrahieren; • können analytische Ergebnisse auf Systemebene interpretieren; • sind in klarer und präziser technischer Kommunikation geübt (mündlich und schriftlich); • können selbstständig Lernen und sich kritisch mit technischer Fachliteratur auseinandersetzen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- understand the fundamental propagation mechanisms in mobile radio channels;
- describe and apply physical and statistical modeling principles to time-varying communication channels;
- analyze fading processes and asses their impact on transmission reliability;
- explain diversity techniques, apply them to design physical layer signal processing algorithms, and assess their impact on transmission reliability;
- explain, compare, and evaluate common multiple access schemes;
- assess transmission concepts employed in contemporary mobile communication systems;
- connect theoretical channel models with practical system design considerations.

Key qualifications:
The students

- have strong analytical and mathematical reasoning skills;
- have the ability to abstract complex physical phenomena into engineering models;
- can interpret analytical results at the system level;
- have experience in clear and precise technical communication (oral and written)
- can learn independently and engage critically with technical literature.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung von Vorlesungsfolien; ausgiebige Literaturhinweise zu jeder Vorlesung. **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Lecture slides and reading assignments for each lecture; additional reading suggestions.

2.2 Vertiefungsgebiet “Computer Systems”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Computer Systems / Computer Systems
Module / Modules	* Advanced VLSI Design * Approximate Computing * Introduction to Quantum Computation * Machine Learning I * Reconfigurable Computing * Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies * VLSI Testing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Prüfungsform / Type of examination	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat / Written or Oral Examination or Presentation
Dauer bzw. Umfang / Duration or Scope	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min / 120-180 min or 30-45 min or 30 min
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich Rechnersysteme. Im Vordergrund stehen dabei die Analyse und Bewertung von Rechnerarchitekturen, systematische Methoden für den Entwurf und die Optimierung von Computersystemen, insbesondere das Zusammenspiel von Hardware und Software, sowie Programmiermodelle und -methoden für die stark an Bedeutung gewinnenden parallelen und spezialisierten Rechnerarchitekturen.

Advanced VLSI Design			
Advanced VLSI Design			
Modulnummer / Module number: M.048.92043	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:
Empfohlen: Grundlagen der Digitaltechnik / Grundlagen des VLSI-Entwurfs

None

Prerequisites of course Advanced VLSI Design:
Recommended: Fundamentals of Digital Circuits / Fundamentals of VLSI Design
Information: Unless otherwise specified, these are recommendations.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse über die moderne anwendungsorientierte Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese digitaler Systeme auf verschieden Abstraktionsebenen bis hin zum Chip-Layout. **Inhalt** Der Chipentwurf besteht in der heutigen Praxis aus der kombinierten Anwendung verschiedener Sprachen, Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Synthese elektronischer Schaltungen. Entlang des modernen abstraktionsebenbasierten Entwurfsflusses digitaler Systeme (Elektronische System Ebene bis hin zum Chiplayout) vermittelt die Veranstaltung grundlegendes Wissen der wesentlichen Beschreibungssprachen und ihrer Anwendung in Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese. Dies umfasst Grundprinzipien und Anwendung der IEEE Standard-System/Hardwarebeschreibungssprachen SystemVerilog, SystemC, Verilog und VHDL in Verbindung mit zusätzlichen Formaten wie z.B. SDF und UPF zur Annotation des Zeit- und Leistungsverhaltens. In der Anwendung werden die wesentlichen Prinzipien von Testumgebungen zur Simulation, der Zeit- und Leistungsanalyse, der Logiksynthese und des physikalischen Entwurfs digitaler Schaltungen. Die Übungen begleiten die Veranstaltung unter Verwendung kommerzieller Werkzeuge von Mentor Graphics, Synopsys und Cadence Design Systems. *Contents of the course Advanced VLSI Design:* **Short Description** The course provides basic knowledge about the modern application-oriented modeling, simulation, analysis, and synthesis of digital systems at different abstraction levels to chip layout. **Contents** In today's practice, chip design consists of the combined application of various languages, methods, and tools for the modeling, simulation, and synthesis of electronic circuits. Along the modern abstraction-based design flow of digital systems (electronic system level to chip layout), the course provides basic knowledge of the main description languages and their application in modeling, simulation, analysis and synthesis. This includes basic principles and application of the IEEE standard system/hardware description languages SystemVerilog, SystemC, Verilog, and VHDL, in conjunction with additional formats, e.g., SDF and UPF for time and power annotation. For their application, the fundamental principles of test environments for simulation, timing and power analysis, logic synthesis and physical design of digital circuits. Exercises will provide hands-on labs based on commercial tools from Mentor Graphics, Synopsys and, Cadence Design Systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden sind nach Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage • einfache digitale Schaltungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu modellieren, zu simulieren, zu analysieren und zu synthetisieren und • die wichtigsten kommerziellen Werkzeuge in der Simulation, Analyse und Synthese digitaler Schaltungen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach Besuch der Veranstaltung in der Lage • moderne Sprachen zur Beschreibung digitaler Schaltungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für die verschiedenen Anwendungen zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden und • die verschiedenen Methoden und Werkzeuge im modernen VLSI-Entwurf anzuwenden.

Domain competence:
After the course students are able

- to model, simulate, analyze and synthesize simple digital circuits at different abstraction levels and
- to apply the most important commercial tools for simulation, analysis and synthesis of digital circuits.

Key qualifications:
After the course students are able

- to assess, select and apply modern digital circuit description languages for their different applications,
- apply the different methods and tools in the modern VLSI design.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** apl. Prof. Dr. Wolfgang Mueller
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Lehrveranstaltungsseite** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und White-Board • Übungen mit Übungsblättern am Computer **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter werden über PAUL zur Verfügung gestellt • IEEE Standard-Referenzhandbücher: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Einzelliteratur zu einzelnen Lehreinheiten *Remarks of course Advanced VLSI Design:* **Course Homepage** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Implementation** * Vorlesung mit Beamer und White-Board * Übungen mit Übungsblättern am Computer * Lecture with LCD projector and white board * Exercises with assignments and hands-on labs **Teaching Material, Literature** • Lecture notes and exercise sheets will be provided via PAUL • IEEE standard reference manuals: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Specific references for individual teaching units

Approximate Computing			
Approximate Computing			
Modulnummer / Module number: M.079.4068	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.09758 Approximate Computing	V3 Ü2	75	105	P	100/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.09758 Approximate Computing	L3 Ex2	75	105	C	100/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Modulen Digitaltechnik und Rechnerarchitektur sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Approximate Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design and Computer Architecture are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Approximate Computing:* Approximate Computing ist ein aktueller Ansatz, der die Genauigkeit von Berechnungen reduziert und dadurch signifikante Einsparungen im Energieverbrauch, der Rechenzeit oder der Chipfläche erzielt. Dieser forschungsorientierte Kurs führt in das Gebiet des Approximate Computing ein und stellt die wesentlichen Methoden für die Implementierung effizienter Rechnersysteme durch Reduktion der Genauigkeit vor. Der Kurs behandelt Approximationstechniken auf allen Ebenen eines Rechnersystems, von der Anwendungsebene bis hin zur Ebene der Hardwaretechnologie. In den Übungen/Tutorium wird die Effizienz dieser Techniken für verschiedene Anwendungsdomänen, wie zum Beispiel Deep Learning und Digital Signal Processing, untersucht. • Einführung und Motivation für ungenaues Rechnen • Approximation in der Anwendungsebene, z.B. für maschinelles Lernen und digitale Signalverarbeitung • Programmiersprachen/Compiler für Approximate Computing • Approximation in der Mikroarchitektur • Automatisierte Synthese von approximierten Schaltungen • Ungenaue arithmetische Komponenten und Performanceoptimierung durch Reduktion der Genauigkeit • Approximationstechniken in der Technologieebene • Übungen/Tutorial: Approximation von Algorithem des Deep Learning und Digital Signal Processing *Contents of the course Approximate Computing:* Approximate Computing is an emerging paradigm that trades-off computational accuracy for a significant reduction in energy, execution time, or chip area. This research-oriented course introduces to the field of Approximate Computing and its most remarkable aspects, and explains the main methods used to implement efficient computing systems by reducing accuracy. The course discusses approximations at all levels of a computing system, from applications down to hardware technologies. In exercise/tutorial sessions the efficiency of these techniques in various domains are examined, including deep learning and digital signal processing. • Introduction and motivation for approximate computing • Approximation at the application level, e.g., in machine learning and digital signal processing • Programming languages/compilers for approximate computing • Approximate microarchitectures • Automated synthesis of approximate circuits • Inexact arithmetic components and performance optimization via accuracy trade-offs • Approximation techniques at the technology level • Exercises/tutorial: Approximating deep learning and digital signal processing algorithms

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die Approximationstechniken auf den unterschiedlichen Ebenen eines Rechnersystems zu benennen und zu erklären,
- die wesentlichen technischen/wissenschaftlichen Problemstellungen bei der Approximation von Rechnersystemen zu identifizieren,
- die Einsetzbarkeit der Approximationstechniken für verschiedene Anwendungsdomänen zu beurteilen und
- die Approximationstechniken anzuwenden, um effiziente Hardwarebeschleuniger zu realisieren, insbesondere für Deep Learning und Digital Signal Processing

After attending this course, the students are able

- to name and explain approximation techniques at all levels of a computing system,
- to identify major engineering/research problems when building approximate computing systems,
- to judge the suitability of approximation techniques for different application domains, and
- to apply approximation techniques to realize efficient hardware accelerators, in particular for deep learning and digital signal processing

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Methodische Umsetzung

- Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb
- Interaktive Übungen/Diskussionen im Hörsaal
- Rechnerübungen

Lernmaterialien, Literaturangaben

- Vorlesungsfolie und Aufgabenblätter
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Zusätzliche Ressourcen und Links auf aktuelle Publikationen werden in der Vorlesung zur Verfügung gestellt.

Remarks of course Approximate Computing:
Implementation method

- Lecture with projector and black/white board
- Interactive exercises/discussions in the lecture room
- Computer-based tutorials

Learning Material, Literature

- Lecture slides, exercise sheets, and tutorial assignments
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Additional resources and links to current research papers are provided in the lecture.

Introduction to Quantum Computation			
Introduction to Quantum Computation			
Modulnummer / Module number: M.079.4059	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05706 Introduction to Quantum Computation	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05706 Introduction to Quantum Computation	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra, Algorithmen

none

Prerequisites of course Introduction to Quantum Computation:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra, algorithms

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:
In dieser Vorlesung werden die Grundlagen von Quanteninformatik und Quanteninformation vorgestellt. Das umfasst eine Einführung in Quantenmechanik, Quantenverschränkung, Quantenalgorithmen, Quantenfehlerkorrektur und Quanteninformation.

- Quantenmechanik
- Quantenverschränkung
- Quantenalgorithmen
- Quantenfehlerkorrektur
- Quanteninformation

Contents of the course Introduction to Quantum Computation:
This lecture introduces the fundamental concepts of quantum computation and information from a computer science perspective. This includes an introduction to quantum mechanics, quantum entanglement, quantum algorithms, quantum error correction, and quantum information theory.

- Quantum mechanics
- Quantum entanglement
- Quantum algorithms
- Quantum error correction
- Quantum information

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Studierende können:

- die Postulate von Quantenmechanik beschreiben und benutzen,
- die Benutzung von Quantenverschränkung als eine Quelle verstehen,
- grundlegenden Quantenalgorithmen entwickeln und analysieren
- Quantenfehlerkorrektur benutzen,
- grundlegender Quanteninformationskonzepten, wie Entropie, verstehen und benutzen.

Students are able to:

- Describe and apply the postulates of quantum mechanics
- Understand the use of entanglement as a resource
- Design and analyze fundamental quantum algorithms
- Apply the theory of error-correcting codes
- Understand and apply basic quantum information theory concepts such as entropy

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Sevag Gharibian

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Introduction to Quantum Computation:* **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Lecture slides, exercises

Machine Learning 1

Machine Learning 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4032	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

none

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie den gesamten Prozess des maschinellen Lernens. • können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens für Klassifizierung und Regression implementieren und in der Praxis anwenden. Gegebenenfalls können sie auch notwendige Anpassungen vornehmen. • verstehen praktische Tools für die Modellvalidierung und für das automatisierte maschinelle Lernen und können diese anwenden. • bewerten die Vor- und Nachteile des Einsatzes verschiedener Techniken des maschinelles Lernen in verschiedenen Situationen.

The students

- understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, and the complete machine learning pipeline.
- implement basic methods of supervised learning for classification and regression, apply them to real-world examples, and make necessary adaptations.
- understand and use practical tools for model validation and automated machine learning pipelines.
- assess the advantages and disadvantages of using various machine learning techniques in various situations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Reconfigurable Computing

Reconfigurable Computing

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4043	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Lehrveranstaltungen Digitaltechnik, Programmierung und Datenstrukturen und Algorithmen sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Reconfigurable Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design, Programming, and Data Structures and Algorithms are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* Die Veranstaltung Reconfigurable Computing führt in das Gebiet des Rechnens mit reprogrammierbaren Hardwarestrukturen ein. Rechnersysteme, die aus reprogrammierbaren Hardwarestrukturen aufgebaut sind, sind nicht auf eine feste Hardware angewiesen, sondern passen ihre Hardwarearchitektur an die auszuführende Anwendung an. Der Bereich entstand Anfang der 1990er Jahre, als Field-programmable Gate Arrays (FPGAs) auf den Markt kamen, die leistungsfähig genug waren, um für das Rechnen verwendet zu werden. Heute übertreffen FPGA-basierte Hochleistungssysteme bei vielen Problemen wie der Datenbanksuche, dem Scannen genomischer Sequenzen und der Kryptografie die modernsten Computer. In eingebetteten Systemen beschleunigen FPGAs die Systemfunktionen, reduzieren die Systemkosten und den Energieverbrauch und ermöglichen Hardware-on-demand-Funktionalität. Die Veranstaltung deckt die folgenden Themen ab: • Einführung in Reconfigurable Computing • Entwicklung von programmierbaren Hardware-Bausteinen • FPGA-Architekturen • Computergestütztes Design für FPGAs • Hochsprachen für die Programmierung von FPGAs • Anwendungsbereiche für FPGAs • Vergleich von reprogrammierbaren Hardwarebausteinen, Technologien und rekonfigurierbaren Systemen *Contents of the course Reconfigurable Computing:* The course Reconfigurable Computing introduces into the field of computing with reprogrammable hardware structures. Computing systems built from reprogrammable hardware structures do not rely on a fixed hardware, but adapt their hardware architecture to the application under execution. The field was formed in the early 1990s when Field-programmable Gate Arrays (FPGAs) became commercially available that were powerful enough to be used for computing. Today, FPGA-based high-performance systems have outperformed state-of-the-art computers for many problems including database search, genomic sequence scanning, and cryptography. In embedded systems, FPGAs accelerate system functions, reduce system cost and energy consumption, and enable hardware-on-demand functionality. The course covers the following topics: • Introduction to reconfigurable computing • Evolution of programmable hardware devices • FPGA architectures • Computer-aided design for FPGAs • High-level languages for programming FPGAs • Application domains for FPGAs • Comparison of devices, technologies, and reconfigurable systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- verschiedene reprogrammierbare Hardwarebausteine vergleichen und deren geschichtliche Entwicklung schildern,
- die Entwurfsschritte und Problemstellungen beim Entwurf mit FPGAs benennen,
- Algorithmen für die Entwurfsschritte analysieren und an Beispielen anwenden,
- aktuelle Ansätze zur Programmierung von FPGAs vergleichen und bewerten,
- die Eignung verschiedener reprogrammierbare Hardwarebausteine für verschiedene Einsatzgebiete begründen und
- Funktionen mittlerer Komplexität mit modernen FPGA Entwurfswerkzeugen praktisch umsetzen.

Students will be able to

- compare different reprogrammable hardware devices and describe their historical development,
- name the design steps and problems when designing with FPGAs,
- analyse algorithms for the design steps and apply them to examples,
- compare and evaluate current approaches to programming FPGAs,
- justify the suitability of different reprogrammable hardware components for different areas of application, and
- implement functions of medium complexity with modern FPGA design tools.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* **Methodische Umsetzung** Die Lehrveranstaltung besteht aus einer Vorlesung und Rechen- sowie praktischen Übungen. Die Vorlesung erfolgt mit Beamer und Tafelanschrieb. In den Rechenübungen werden Aufgaben ausgegeben und deren Lösungen werden in einer Übungseinheit vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich werden Quizze zur Selbsteinschätzung angeboten. In den praktischen Übungen wird ein Tutorial zum Entwurf mit FPGAs durchgeführt und dann Aufgaben ausgegeben, die in Gruppen von einem bis drei Teilnehmern als Entwurfs- bzw. Programmierbeispiele umgesetzt werden. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien, Aufgabenblätter für Rechenübungen, Quizze • Tutorial, Aufgabenblätter für Entwurfs- und Programmierbeispiele, technische Dokumentationen • Ausgewählte wissenschaftliche Artikel • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben.

Remarks of course Reconfigurable Computing:
Implementation Method
The course consists of a lecture, and pencil&paper as well as practical exercises. The lecture is held with a beamer and blackboard. In the pencil&paper exercises, problems are handed out and their solutions are presented and discussed in a practice session. In addition, quizzes are offered for self-assessments. In the practical exercises, a tutorial on the design with FPGAs is carried out and then tasks are handed out, which are implemented as design or programming examples in groups of one to three participants.
Learning Material, Literature

- Lecture slides, assignment sheets for paper&pencil exercises, quizzes
- Tutorial, assignment sheets for design and programming examples, technical documentation
- Selected scientific articles
- Additional literature will be announced in the course.

Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies

Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.23023	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
Keine

None

Prerequisites of course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* Die Lehrveranstaltung vermittelt Methoden und Architekturen für die ressourceneffiziente Ausführung moderner KI-Anwendungen unter Berücksichtigung von Leistungs-, Energie- und Speicherrestriktionen. Behandelte Themen umfassen: • Grundlagen des Deep Learning und Trainingsverfahren • Charakteristika moderner KI-Workloads (z. B. CNNs und Transformer) • Rechen-, Speicher- und Energieengpässe bei der KI-Inferenz • Methoden zur effizienten Modellgestaltung und -optimierung: – Quantisierung – Pruning und Sparsity – Knowledge Distillation – Effiziente neuronale Netze (z. B. MobileNet) • Abbildung von KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen • Architekturen für KI-Beschleunigung: – SIMD- und Vektorarchitekturen – GPU-Architekturen – Dataflow-Architekturen und systolische Arrays – NPUs und domänenspezifische Beschleuniger • Hardware-Software-Co-Design für effiziente KI-Systeme *Contents of the course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* The course introduces methods and architectures for resource-efficient execution of modern artificial intelligence applications under performance, energy, and memory constraints. Topics include: • Fundamentals of deep learning and training methodologies • Characteristics of modern AI workloads (e.g., CNNs and transformers) • Computational, memory, and energy bottlenecks during AI inference • Techniques for efficient model design and optimization: – Quantization – Pruning and sparsity – Knowledge distillation – Efficient neural network architectures (e.g., MobileNet) • Mapping AI workloads onto hardware platforms • Architectures for AI acceleration: – SIMD and vector architectures – GPU architectures – Dataflow architectures and systolic arrays – Neural Processing Units (NPUs) and domain-specific accelerators • Hardware-software co-design for efficient AI systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- grundlegende Prinzipien des Deep Learning aus einer Systemperspektive einzuordnen,
- KI-Workloads hinsichtlich ihrer Rechen-, Speicher- und Kommunikationsanforderungen zu analysieren,
- Performance-, Energie- und Speicherengpässe zu identifizieren,
- Methoden zur Modelloptimierung gezielt anzuwenden,
- KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen abzubilden und zu bewerten,
- verschiedene Architekturen für KI-Beschleunigung zu vergleichen,
- Trade-offs zwischen Genauigkeit, Latenz, Durchsatz und Energieeffizienz zu analysieren,
- Hardware-Software-Co-Design-Methoden für ressourceneffiziente KI-Systeme anzuwenden.

After successful completion of the module, students are able to:

- explain fundamental principles of deep learning from a systems perspective,
- analyze AI workloads with respect to computational, memory, and communication requirements,
- identify performance, energy, and memory bottlenecks,
- apply model optimization techniques to improve efficiency,
- map AI workloads onto different hardware platforms and evaluate their suitability,
- compare different architectures for AI acceleration,
- analyze trade-offs between accuracy, latency, throughput, and energy efficiency,
- apply hardware-software co-design methodologies for resource-efficient AI systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Lennart Bamberg
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** PANDA (mehr Informationen werden in der ersten Vorlesung gegeben) **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** PANDA (more information will be provided in the first lecture) **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

VLSI-Testing			
VLSI-Testing			
Modulnummer / Module number: M.048.92027	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung VLSI Testing:
Empfohlen: Digitaltechnik

None

Prerequisites of course VLSI Testing:
Recommended: Digital Design

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "VLSI Testing" behandelt systematische Verfahren zur Erkennung von Hardware-Defekten in mikroelektronischen Schaltungen. Es werden sowohl Algorithmen zur Erzeugung und Auswertung von Testdaten als auch Hardwarestrukturen zur Verbesserung der Testbarkeit und für den eingebauten Selbsttest vorgestellt. **Inhalt** Im einzelnen werden die folgenden Themen behandelt: • Fehlermodelle • Testbarkeitsmaße und Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit • Logik- und Fehlersimulation • Algorithmen zur Testmustererzeugung • Selbsttest, insbesondere Testdatenkompression und Testantwortkompaktierung • Speichertest *Contents of the course VLSI Testing:* **Short Description** The course "VLSI Testing" focuses on techniques for detecting hardware defects in microelectronic circuits. Algorithms for test data generation and test response evaluation as well as hardware structures for design for test (DFT) and on-chip test implementation (BIST) are presented. **Contents** In detail the following topics are covered: • Fault models • Testability measures and design for test (DFT) • Logic and fault simulation • Automatic test pattern generation (ATPG) • Built-in self-test (BIST), in particular test data compression and test response compaction • Memory test
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Fehlermodelle, Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit und Werkzeuge zur Unterstützung des Tests zu beschreiben, • die grundlegenden Modelle und Algorithmen für Fehlersimulation und Test zu erklären und anzuwenden, sowie • Systeme im Hinblick auf ihre Testbarkeit zu analysieren und geeignete Teststrategien auszuwählen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden können • die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen, • ihre Lösungen den anderen Teilnehmern präsentieren und • die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to describe fault models, DFT techniques, and test tools,
- to explain and apply the underlying models and algorithms for fault simulation and test generation,
- to analyze systems with respect to their testability and to derive appropriate test strategies.

Key qualifications:
The students

- are able to apply the practiced strategies for problem solving across varying disciplines,
- have experience in presenting their solutions to their fellow students, and
- know how to improve their competences by private study.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sybille Hellebrand
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/date/lehre/uebersicht` **Methodische Umsetzung** * Vorlesung mit Beamer und Tafel * Präsenzübungen in kleinen Gruppen mit Übungsblättern zu den theoretischen Grundlagen, Präsentation der Lösungen durch Übungsteilnehmer * Praktische Übungen mit verschiedenen Software-Werkzeugen am Rechner **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle Hinweise auf ergänzende Literatur und Lehrmaterialien im jeweiligen panda-Kurs • Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000 • Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

Remarks of course VLSI Testing:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/electrical-engineering/date/teaching/electrical-engineering/overview`
Implementation

- Lecture based on slide presentation, extensions on blackboard
- Exercises in small groups based on exercise sheets with students presenting their own solutions
- Hands-on exercises using various software tools

Teaching Material, Literature
Additional material can be found in panda

- Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000
- Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

2.3 Vertiefungsgebiet “Control and Automation”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Control and Automation / Control and Automation
Module / Modules	* Advanced System Theory * Advanced Topics in Robotics * Gekoppelte Felder * Geregelte Drehstromantriebe * Geregelte Netzumrichter / Control of Grid-Tied Converters * Machine Learning I * Nonlinear control of autonomous and robotic systems * Optimization-Based Control Methods * Robotics * Ultraschallmesstechnik
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Prüfungsform / Type of examination	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat / Written or Oral Examination or Presentation
Dauer bzw. Umfang / Duration or Scope	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min / 120-180 min or 30-45 min or 30 min
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich der Regelungs- und Automatisierungstechnik.

Advanced System Theory			
Advanced System Theory			
Modulnummer / Module number: M.048.92001	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2V 2Ü, WS/SS	60	120	P	60/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2L 2Ex, WS/SS	60	120	C	60/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:
Empfohlen:
Voraussetzung ist ein Grundverständnis von Differentialgleichungen, linearer Algebra und Laplace-Transformationen, wie sie in einem typischen Grundstudium der Systemtheorie behandelt werden.

None

Prerequisites of course Advanced System Theory:
Recommended:
Prerequisites are a basic understanding of differential equations, linear algebra, and Laplace transforms, as they are covered in a typical undergraduate course on system theory.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Kurzbeschreibung** Aufbauend auf einem Grundkurs in Systemtheorie behandelt dieser Kurs das dynamische Verhalten linearer Systeme mit größerer mathematischer Sorgfalt. Der Kurs ist in erster Linie für Studierende der Ingenieurwissenschaften gedacht, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften nützlich sein. **Inhalte** Systemmodelle und Differentialgleichungen • Zustandsraum- und E/A-Beschreibungen • Beziehungen zwischen internen und externen Beschreibungen • Reaktion von Systemen mit kontinuierlicher und diskreter Zeit • Stabilität, Kontrollierbarkeit, Beobachtbarkeit • Zustandsraumrealisierungen von externen Beschreibungen *Contents of the course Advanced System Theory:* **Short Description** Building on an undergraduate system theory course, this course studies the dynamical behavior of linear systems with greater mathematical rigor. The course is primarily intended to serve students in engineering, but it can also be useful to students in physics and other natural sciences. **Contents** • System models and differential equations • State-space and I/O descriptions • Relations between internal and external descriptions • Response of continuous- and discrete-time systems • Stability, controllability, observability • State-space realizations of external descriptions
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch dieser Veranstaltung sind die Studenten mit den wichtigsten Konzepten und Ergebnissen der linearen Systemtheorie vertraut. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Dieser Kurs soll ihnen Intuition und Gespür für das dynamische Verhalten linearer Systeme vermitteln, auf das sie später zurückgreifen können. Dieser Kurs behandelt Material in ausreichender Breite, so dass Studenten ein klares Bild vom dynamischen Verhalten linearer Systeme, einschließlich ihrer Leistungsfähigkeit und Grenzen, bekommen. Dadurch können Studenten die Theorie in anderen Gebieten anwenden. After attending this course, students will be familiar with the most important concepts and results in linear system theory. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. Many of their timeless insights and intuitions about the dynamical behavior of systems will be drawn from this course. This course presents material broad enough so that students will have a clear understanding of the dynamical behavior of linear systems, including their power and limitations. This will allow students to apply the theory to other fields.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Erdal Kayacan

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) Panda-Kurs für Kommunikation und Organisation **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungs-/Tutoriumsfragen; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben *Remarks of course Advanced System Theory:* **Course Homepage** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) Panda course for communication and material distribution **Teaching Material, Literature** Handouts and exercise / tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Advanced Topics in Robotics			
Advanced Topics in Robotics			
Modulnummer / Module number: M.048.92006	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92006 Advanced Topics in Robotics	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92006 Advanced Topics in Robotics	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:
Keine

None

Prerequisites of course Advanced Topics in Robotics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung Advanced Topics in Robotics baut auf dem Kurs Robotics auf. Sie führt die teilnehmenden Studierenden an aktuelle Forschungsfragen im Bereich autonomer und teleoperierter mobiler Roboter zur Lösung interdisziplinärer Probleme heran. Die Herausforderungen für die Entwicklung intelligenter mobiler Systeme werden analysiert und aktuelle Lösungen vorgestellt. **Inhalt** • Architekturen für Robotersysteme • Middleware für Hardwareabstraktion • Gerätetreiber und Bibliotheken • Visualisierung • lokale Navigationsverfahren (Kollisionsvermeidung) • globale Navigationsverfahren (Wegfindung) • Methoden zur Navigation und Selbstlokalisation (SLAM) • Grundlagen der Handlungsplanung • Ausblick zu Multi-Agenten-Systemen *Contents of the course Advanced Topics in Robotics:* **Short Description** The course Advanced Topics in Robotics is based on the course Robotics. The students are introduced to current research topics in the field of autonomous and teleoperated mobile robots to solve interdisciplinary issues. The challenges encountered in developing intelligent mobile systems are analyzed and current solutions presented. **Contents** • Architectures of robot systems • Middleware for hardware abstraction • Device drivers and libraries • Visualization • Local navigation processes (collision avoidance) • Global navigation processes (pathfinding) • Navigation and self-localization methods (SLAM) • Fundamentals of task planning
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden • können die grundlegenden Architekturen für mobile Roboter benennen und ihre Eigenschaften analysieren, • beherrschen die grundlegenden Methoden für die Navigation und Regelung von mobilen Robotern und • können diese selbstständig implementieren, testen und anwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen** Die Studierenden beherrschen die Grundlagen der Programmierung in C.

Domain competence:
The students

- are able to name and analyze the basic robot architectures for mobile robots,
- have a good command of the methods for the navigation and control of mobile robots and
- are able to implement, test and apply them.

Key qualifications:
The students have a good command of programming in the C language

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/atir` **Methodische Umsetzung** • Die theoretischen und methodischen Grundlagen werden zunächst im Rahmen einer Vorlesung eingeführt. • Eine Einübung der präsentierten Methoden erfolgt danach im Übungsteil. • Abschließend werden einfache Algorithmen von den TeilnehmerInnen implementiert, getestet und angewendet. • Im Praktikumsteil werden die notwendigen Programmierkenntnisse vermittelt, er ist aber ausdrücklich nicht als Programmierkurs gedacht. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher aus der Lehrbuchsammlung werden noch bekannt gegeben. • Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes) • McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991 • Siegwart, Roland; Nourbakhsh, Illah R. and Scaramuzza, David: Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 2011, ISBN-13: 978-0262015356

Remarks of course Advanced Topics in Robotics:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/atir`
Implementation

- The theoretical and methodical fundamentals will be introduced during the lecture.
- The methods presented will be practiced during the subsequent exercise / lab part.
- Finally, the participants will implement, test, and apply simple algorithms.
- The necessary programming skills will be taught during the practical, this is explicitly not considered a programming course.

Teaching Material, Literature
Allocation of lecture notes; information on textbooks stocked in the textbook collection will be announced later.

- Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes)
- McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991
- Siegwart, Roland; Nourbakhsh, Illah R. and Scaramuzza, David: Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 2011, ISBN-13: 978-0262015356

Gekoppelte Felder			
Coupled Fields			
Modulnummer / Module number: M.048.27028	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27028 Gekoppelte Felder	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27028 Coupled Fields	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder:
Empfohlen: Grundkenntnisse aus dem Bereich der klassischen Feldtheorie, zum Beispiel aus den Modulen “Feldtheorie”, “Elektromagnetische Wellen” und “Theoretische Elektrotechnik”.

None

Prerequisites of course Gekoppelte Felder:
Recommended: Basic knowledge from the area of classical field theory, for example from the modules “Field Theory”, “Electromagnetic Waves” and “Theoretical Electrical Engineering”.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder:* Fokus der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder ist die klassische feldtheoretische Betrachtung interagierender elektromagnetischer, thermischer und mechanischer Phänomene sowie deren Anwendung in der Sensorik und Aktorik. Nach einer Einführung in die mathematische Beschreibung der einzelnen Feldgrößen werden folgende Themen behandelt: • Elektromechanische Kopplung an den Beispielen des piezoelektrischen Effekts, der Elektrostriktion und der Magnetostriktion. • Thermomechanische Kopplung am Beispiel der Thermoelastizität sowie bei der Beschreibung verlustbehafteter akustischer Wellen. • Thermoelektrische Kopplung am Beispiel der Pyroelektrizität. • Phänomene mit elektromagnetisch-thermisch-mechanischer Kopplung wie der photoakustische Effekt. Neben der Beschreibung der Effekte wird auf Analogien, Gemeinsamkeiten und Unterschiede eingegangen sowie Aspekte der numerischen Simulation besprochen. *Contents of the course Gekoppelte Felder:* The focus of the course Coupled Fields is the classical field theory of interacting electromagnetic, thermal and mechanical phenomena as well as their application in sensors and actuators. After an introduction to the mathematical description of the individual fields, the following topics are covered: • Electromechanical coupling based on examples in piezoelectricity, electrostriction and magnetostriction. • Thermomechanical coupling such as thermoelasticity and lossy acoustic waves. • Thermoelectric coupling, for example pyroelectricity. • Phenomena with electromagnetic-thermal-mechanical coupling such as the photoacoustic effect. In addition to the description of the effects, analogies as well as similarities and differences are considered and aspects of numerical simulation are discussed.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch der Lehrveranstaltung sind die Studenten in der Lage, • die Wirkungsweise der besprochenen physikalischen Effekte phänomenologisch und auf Differentialgleichungsebene zu beschreiben. • Ergebnisse numerischer Simulationen verkoppelter Felder zu interpretieren und auf Plausibilität zu Prüfen. • für sensorische und aktorische Anwendungen verkoppelter Felder geeignete Komponenten auszuwählen. • aus Beobachtungen Rückschlüsse auf den zugrundeliegenden physikalischen Effekt zu ziehen. After attending the course, students will be able to • describe the discussed physical effects phenomenologically and with differential equations. • interpret the results of numerical simulations of coupled fields and check them for plausibility. • select suitable components for sensor and actuator applications of coupled fields. • infer an acting physical effect from observations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the examination will be conducted.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Leander Claes
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://emt.upb.de` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien sowie Übungsaufgaben werden bereitgestellt. Auf ergänzende Fachliteratur wird im Verlauf der Veranstaltung hingewiesen. **Module Homepage** `https://emt.upb.de` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture slides and exercises will be provided. Additional literature references will be given throughout the course.

Regelung elektrischer Antriebe			
Control of Electric Drives			
Modulnummer / Module number: M.048.27013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27013 Regelung elektrischer Antriebe	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27013 Control of Electric Drives	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:
Empfohlen:

- Grundlagen Regelungstechnik
- Grundlagen elektrische Maschinen
- Grundlagen Leistungselektronik

	None *Prerequisites of course Regelung elektrischer Antriebe:* **Recommended:** • basics of control theory • basics of electrical machines • basics of power electronics
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung vermittelt die Regelung von elektrischen Maschinen (Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Asynchronmaschinen). Die vermittelten Inhalte werden in Simulationen im Rahmen der Übungen überprüft. **Inhalt** • Maschinenmodelle (Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen) • Koordinatentransformationen • Feldorientierte Regelung für die untersuchten Maschinen • Beobachter • Fortgeschrittene Regelungsansätze (direct torque control, modellprädiktive Regelung) *Contents of the course Regelung elektrischer Antriebe:* **Short Description** The course teaches the closed-loop control for electrical machines (DC machines, synchronous machines, and induction machines). The presented content is tested in simulations within the exercises. **Contents** • machine models (dc machines, synchronous machines, and induction machines) • coordinate transformations • field-oriented control for particular machines • observers • advanced control techniques (direct torque control, model-predictive control)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden: • die Funktionsweise elektrischer Antriebe (basierend auf Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen) zu erklären • ein Simulationsmodell für die Zielanwendung aufzubauen • ein geeignetes Steuerungssystem für die jeweiligen elektrischen Maschinen zu entwerfen und als Simulationsmodell zu implementieren

After successfully completing the module, students will be able to

- explain the functionality of electric drives (based on dc machines, synchronous machines, and induction machines)
- set up a simulation model for the target application
- design a suitable control system for the particular electric machines and implement it as a simulation model

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Jakub Kucka
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:* **Methodische Umsetzung** Teile der Veranstaltung werden als Simulationsübung durchgeführt. **Material** Vorlesungsfolien. *Remarks of course Regelung elektrischer Antriebe:* **Implementation** Parts of the course are organized as computer-based simulation exercises. **Teaching Material** Lecture slides.

Geregelte Netzumrichter			
Control of Grid-Tied Converters			
Modulnummer / Module number: M.048.22021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.22021 Geregelte Netzumrichter	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22021 Control of Grid-Tied Converters	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Geregelte Netzumrichter:
Empfohlen:

- Grundlagen der Leistungselektronik (empfohlen)
- Grundlagen der Regelungstechnik (empfohlen)

	None *Prerequisites of course Geregelte Netzumrichter:* **Recommended:** • Basics of Power Electronics (recommended) • Basics of Control Theory (recommended)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Geregelte Netzumrichter:* Ziel dieses Moduls ist es, anwendungsorientierte Kenntnisse für den Betrieb von netzgekoppelten Umrichtern zu erarbeiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Funktionsprinzipien, Anforderungen sowie auf der Umrichterregelung. • Netzanschlussbedingungen und weitere Anforderungen • dreiphasige und einphasige Spannungszwischenkreis-Umrichtertopologien für den Netzbetrieb • Modellierung der Umrichterkomponenten für Simulationszwecke • Spannungs- und Stromtransformationen, die bei der Regelung verwendet werden • die Regelungsalgorithmen für diese Topologien • verschiedene PLLs und ihre Eigenschaften *Contents of the course Geregelte Netzumrichter:* The goal of this module is to develop application-oriented skills regarding the operation of grid-tied converters. The focus is on the operational principles, requirements, and control. • grid codes and other requirements • three-phase and single-phase voltage converter topologies for grid operation • modeling the inverter components for simulation purposes • voltage and current transformations utilized for control • the control algorithms for these topologies • different PLLs and their properties
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden: • die Funktionsweise netzgebundener Umrichter erläutern • ein Simulationsmodell für die Zielanwendung aufbauen • eine passende Regelung für den Netzbetrieb des einphasigen sowie des dreiphasigen Umrichters entwerfen und als Simulationsmodell implementieren • wesentliche Netzanforderungen erläutern After successfully completing the module, students will be able to • explain the functionality of grid-tied converters • set up a simulation model for the target application • design a suitable control system for the grid operation of the single-phase and three-phase inverters and implement it as a simulation model • explain essential grid code requirements

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat</td><td>120-180 min oder 30-45 min oder 30 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Written or Oral Examination or Presentation</td><td>120-180 min or 30-45 min or 30 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. Jakub Kucka</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Machine Learning 1

Machine Learning 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4032	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

none

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie den gesamten Prozess des maschinellen Lernens. • können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens für Klassifizierung und Regression implementieren und in der Praxis anwenden. Gegebenenfalls können sie auch notwendige Anpassungen vornehmen. • verstehen praktische Tools für die Modellvalidierung und für das automatisierte maschinelle Lernen und können diese anwenden. • bewerten die Vor- und Nachteile des Einsatzes verschiedener Techniken des maschinelles Lernen in verschiedenen Situationen.

The students

- understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, and the complete machine learning pipeline.
- implement basic methods of supervised learning for classification and regression, apply them to real-world examples, and make necessary adaptations.
- understand and use practical tools for model validation and automated machine learning pipelines.
- assess the advantages and disadvantages of using various machine learning techniques in various situations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Nonlinear control of autonomous and robotic systems			
Nonlinear control of autonomous and robotic systems			
Modulnummer / Module number: M.048.27032	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

None

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Nonlinear control of autonomous and robotic systems:
Empfohlen:
Vorausgesetzt wird ein grundlegendes Verständnis der linearen Algebra, der linearen Systemtheorie und der Regelungstechnik, wie es typischerweise in einem Bachelor-Modul zur Regelungstechnik vermittelt wird.

	None *Prerequisites of course Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* **Recommended:** Prerequisites are a basic understanding of linear algebra, linear system theory, and control theory as they are covered in a typical undergraduate course on control theory.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* Aufbauend auf einem Bachelor-Modul zur Regelungstechnik führt dieser Kurs in die Analyse und Regelung nichtlinearer dynamischer Systeme ein. Der Schwerpunkt liegt auf grundlegenden Konzepten und Methoden der nichtlinearen Regelungstechnik, mit besonderem Fokus auf deren Anwendung in autonomen Systemen und der Robotik. Der Kurs richtet sich in erster Linie an Studierende der Ingenieurwissenschaften, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften von Nutzen sein. Inhalte • Modellierung nichtlinearer Systeme und Zustandsraumdarstellungen • Phasenebenenanalyse und Systemverhalten nichtlinearer Systeme • Ruhelagen (Gleichgewichtspunkte) und lokale Stabilitätsanalyse • Ljapunow-Stabilitätstheorie (Lyapunov-Stabilität) • Exakte Linearisierung (Feedback-Linearisierung) und nichtlinearer Reglerentwurf • Anwendungen der nichtlinearen Regelung in autonomen und robotischen Systemen *Contents of the course Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* Building on an undergraduate control theory course, this course introduces the analysis and control of nonlinear dynamical systems. The course focuses on fundamental nonlinear control concepts and methods, with particular emphasis on their application to autonomous and robotic systems. It is primarily intended for engineering students but may also be useful to students in physics and other natural sciences. Contents • Nonlinear system modeling and state-space representations • Phase-plane analysis and nonlinear system behavior • Equilibrium points and local stability analysis • Lyapunov stability theory • Feedback linearization and nonlinear controller design • Nonlinear control applications in autonomous and robotic systems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** - -

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen (MTP) bestanden sind.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
The credit points are awarded after all module examinations (MTP) were passed.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Modulseite
`http://sst.upb.de/teaching`
Methodische Umsetzung
Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner)
Lernmaterialien, Literaturangaben
Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Module Homepage
`http://sst.upb.de/teaching`
Implementation
Lectures and exercises (including some computer simulations)
Teaching Material, Literature
Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen (MTP) bestanden sind. The credit points are awarded after all module examinations (MTP) were passed.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Erdal Kayacan
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `http://sst.upb.de/teaching` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture **Module Homepage** `http://sst.upb.de/teaching` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optimization-Based Control Methods

Optimization-Based Control Methods

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.27031	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27031 Optimization-Based Control Methods	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27031 Optimization-Based Control Methods	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimization-Based Control Methods:
Keine

None

Prerequisites of course Optimization-Based Control Methods:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optimization-Based Control Methods:* Der Kurs beginnt mit dem Bellmanschen Optimalitätsprinzip und führt in die Grundlagen der Dynamischen Programmierung (DP) zur Lösung von Optimierungsproblemen mit endlichen und unendlichen Zeithorizonten ein. Auf der Grundlage dieses Rahmens werden die Studierenden optimale Steuerungsprobleme mit endlichen und unendlichen Horizonten untersuchen und lernen, wie man DP auf reale Steuerungsprobleme anwendet. Ein bedeutender Teil des Kurses ist dann linearen quadratischen Reglern (LQR) und linearen quadratischen Schätzern (LQE) gewidmet, wobei der Schwerpunkt auf dem Entwurf von Reglern mit optimaler Zustandsrückführung für lineare Systeme liegt. Das LQG kombiniert dann LQR und LQE zu einem robusten Framework für Gaußsches Zustands- und Messrauschen. Zur Behandlung von Optimierungsproblemen mit Zustands- und Eingabebeschränkungen werden die Studierenden in die quadratische Programmierung (QP) und die Grundlagen der konvexen Optimierung eingeführt. Diese Methoden sind für reale Regelungsprobleme mit Beschränkungen für Systemeingang und -zustände unerlässlich. Ein Abschnitt über Modell Prädiktive Regelung (MPC) konzentriert sich dann auf den Entwurf optimaler Regelungsstrategien für beschränkte lineare Systeme, indem eine Reihe von Optimierungsproblemen in Echtzeit gelöst werden. Der Kurs befasst sich anschließend mit der approximativen dynamischen Programmierung (ADP) und ihrer Verbindung zu MPC, wobei Methoden zur Annäherung an optimale Lösungen für rechnerisch schwer lösbare Probleme unter Verwendung traditioneller DP-Techniken untersucht werden. Schließlich werden die Studierenden moderne Methoden für den Entwurf von Convex Optimization Control Policies anwenden und lernen, effiziente und skalierbare Regelungslösungen unter Verwendung von Konvexität und Optimierungsproblemen zu erstellen. Wenn es die Zeit erlaubt, wird der Kurs mit einer kurzen Einführung in Proximal Policy Optimization Methoden abgeschlossen. *Contents of the course Optimization-Based Control Methods:* The course begins with Bellman's Principle of Optimality and introduces the foundations of Dynamic Programming (DP) techniques for solving optimization problems in finite and infinite time horizons. Based on this framework, students will study Finite and Infinite Horizon Optimal Control Problems, learning how to apply DP to real-world control problems over different time scales. A significant portion of the course is then devoted to linear quadratic regulator (LQR) and linear quadratic estimator (LQE) problems, focusing on designing Optimal State Feedback controllers and estimators for linear systems. The linear quadratic Gaussian (LQG) framework then combines LQR and LQE into a robust framework for Gaussian state and measurement noise. To address optimization problems with state and input constraints, students will be introduced to Quadratic Programming (QP) and the fundamentals of Convex Optimization, which are essential for handling real-world control applications that impose limits on system inputs and states. A section on Model Predictive Control (MPC) will then focus on designing optimal control strategies for constrained linear systems by solving a series of optimization problems in real-time, offering a bridge between theory and industrial applications. The course then covers Approximate Dynamic Programming (ADP) and its connection to MPC, exploring methods to approximate optimal solutions for computationally intractable problems using traditional DP techniques. Lastly, students will use modern methods for designing Convex Optimization Control Policies, learning to create efficient and scalable control solutions using convexity and optimization frameworks. Finally, if time permits, the course will close with a short introduction to Proximal Policy Optimization methods.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** - -

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Dr. Adrian Redder

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** http://sst.upb.de/teaching **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture **Module Homepage** http://sst.upb.de/teaching **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Robotics			
Robotics			
Modulnummer / Module number: M.048.92012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92012 Robotics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92012 Robotics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Robotics:
Keine

None

Prerequisites of course Robotics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Robotics:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung “Robotics” ist ein Basismodul im Katalog “Kognitive Systeme” des Masterstudiengangs Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. Es ist der erste von zwei Kursen, die die relevanten Konzepte und Techniken auf dem Gebiet der Robotermanipulatoren und mobilen Roboter abdecken. Dieser Kurs konzentriert sich auf die Modellierung und Steuerung von Roboterarmen, während sein Folgekurs im Wintersemester (Advanced Topics in Robotics (L.048.23020 / L.048.92006) sich auf mobile Roboter konzentriert. Die Herausforderungen für die Entwicklung von autonomen intelligenten Systemen werden analysiert und aktuelle Lösungen vorgestellt. **Inhalte** • Sensoren, Effektoren, Aktoren • Homogene Koordinaten, allgemeine Transformationen, Denavit-Hartenberg-Parameter • Kinematik und Dynamik von Roboterarmen und mobilen Robotern Nach der Vorstellung der Methoden in der Vorlesung werden die Studierenden diese mit Matlab und Octave implementieren. *Contents of the course Robotics:* **Short Description** The course “Robotics” is a fundamental module in the catalog “Cognitive Systems” of the Electrical Engineering Master’s program and related degree programs. It is the first of two courses that cover the relevant concepts and techniques in the field of robot manipulators and mobile robots. This course concentrates on modeling and controlling robot arms, while its successor in the winter semester (Advanced Topics in Robotics (L.048.23020 / L.048.92006) focuses on mobile robots. The challenges for the development of autonomous intelligent systems will be analyzed and the current solutions will be presented. **Contents** • Sensors, effectors, actuators • Homogenous coordinates, general transformations, Denavit-Hartenberg parameters • Kinematics and dynamics of robot arms and mobile robots After the presentation of methods in the lecture, the students will use Matlab and Octave to implement them.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden • können grundlegende Methoden aus der Steuerungs- und Systemtheorie auf die Robotik übertragen und • sind in der Lage, geeignete Methoden zur Modellierung sowie zur Planung und Steuerung der Bewegungen von Roboterarmen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind in der Lage, die Funktion und das Verhalten von Robotern und deren Einbindung in das soziale und wirtschaftliche Umfeld zu erkennen und zu bewerten und dabei auch ethische Aspekte zu berücksichtigen.

Domain competence:
The students

- know how to transfer basic methods from control and system theory to robotics and
- are able to apply adequate methods to model as well as plan and control the movements of robot arms.

Key qualifications:
The students are able to identify and evaluate the function and behavior of robots and their integration into the social and economic environment while also considering ethical aspects.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Robotics:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/robotik] **Lehrmaterialien** siehe PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de]) **Literaturangaben (Auszug)** • Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes) • McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991 • Lynch, Kevin M. and Park, Frank C.: Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017. ISBN-13 : 978-1107156302

Remarks of course Robotics:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
[http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/robotik]
Course Documents
see PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de])
References (excerpt)

- Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes)
- McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991
- Lynch, Kevin M. and Park, Frank C.: Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017. ISBN-13 : 978-1107156302

Ultraschallmesstechnik			
Ultrasonic measurement technology			
Modulnummer / Module number: M.048.27015	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27015 Ultraschallmesstechnik	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27015 Ultrasonic Measurement Technology	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:
Keine

None

Prerequisites of course Ultraschallmesstechnik:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik beschäftigt sich mit den Phänomenen der Ausbreitung mechanischer Wellen in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen. Darauf aufbauend werden die wichtigsten akustischen Messprinzipien zur Bestimmung akustischer Stoffkenngrößen, geometrischer und technischer Prozessgrößen sowie deren Anwendung in der Prozess- und Fertigungstechnik beschrieben. Die Anwendung von Schall und Ultraschall für die zerstörungsfreie Werkstoffdiagnostik sowie für die Ultraschall-Tomografie werden detailliert behandelt. **Inhalt** Die Vorlesung Ultraschallmesstechnik behandelt folgende Themen: • Akustische und Schallfeldkenngrößen • Grundlagen der Wellenausbreitung • Ultraschallsensordesign (experimentelle Realisierung) • Methoden zur Messung und Visualisierung von Ultraschallfeldern (Nadel- und Membranhydrophon, Schlierenmessplatz, Laservibrometrie. . .) • Messtechnische Methoden zur akustischen Materialdatenbestimmung (Schallgeschwindigkeit, Schallkennimpedanz. . .) • Anwendung von Ultraschall zur Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (NDT) und Schallemissionsanalyse • Anwendung von Ultraschall und in der Prozessmesstechnik (Abstand, Durchfluss, Füllstand. . .) *Contents of the course Ultraschallmesstechnik:* **Short description** The course Ultrasonic Measurement Technology deals with the phenomena of propagation of mechanical waves in solids, liquids and gases. Based on this the most important acoustic measurement principles for the determination of acoustic material parameters, geometric and technical process parameters as well as their application in process and production engineering are described. The application of sound and ultrasound for non-destructive material diagnostics as well as for ultrasonic tomography are covered in detail. **Contents** The Ultrasonic Metrology lecture covers the following topics: • Acoustic and sound field characteristics. • Fundamentals of wave propagation • Ultrasonic sensor design (experimental realization) • Methods for measurement and visualization of ultrasonic fields (needle and membrane hydrophone, schlieren measuring station, laser vibrometry. . .) • Metrological methods for acoustic material data determination (sound velocity, sound characteristic impedance. . .) • Application of ultrasound for non-destructive testing (NDT) and acoustic emission analysis • Application of ultrasound and in process measurement technology (distance, flow, level. . .)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Ultraschall einzusetzen, um akustische und nicht akustische Größen damit zu bestimmen.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend und bei komplexen Fragestellungen einsetzen,
- können aufgrund einer systematischen Problemanalyse zielgerichtet Lösungen erarbeiten,
- sind aufgrund der methodenorientierten Wissensvermittlung befähigt, sich selbst in tangierende Arbeitsgebiete einzuarbeiten.

Specialized competence:
After attending the course, students will be able to,

- use ultrasound to determine acoustic and non-acoustic quantities.

Cross-disciplinary competencies:
The students

- are able to apply the knowledge and skills across disciplines and to complex problems,
- are able to develop targeted solutions on the basis of systematic problem analysis,
- are able to familiarize themselves with tangential fields of work due to the method-oriented knowledge transfer.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bernd Henning
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://emt.upb.de` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Folien-Präsentation umfangreicher Zusammenhänge • Praktische Arbeit in Gruppen mittels Messtechnik im Labor **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher aus der Lehrbuchsammlung werden bekannt gegeben.

Remarks of course Ultraschallmesstechnik:
Course Homepage
`http://emt.upb.de`
Methodical implementation

- Lectures with slide presentation of extensive correlations
- Practical work in groups using measurement techniques in the laboratory

Learning materials, references

- Provision of a script; references to textbooks from the textbook collection will be announced.

2.4 Vertiefungsgebiet “Embedded Systems”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Embedded Systems / Embedded Systems
Module / Modules	* Advanced VLSI Design * Algorithms and Tools for Test and Diagnosis of Systems on a Chip * Approximate Computing * Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation * Hardware Security * Machine Learning I * Model-Based Systems Engineering * Reconfigurable Computing * Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * VLSI Testing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Prüfungsform / Type of examination	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat / Written or Oral Examination or Presentation
Dauer bzw. Umfang / Duration or Scope	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min / 120-180 min or 30-45 min or 30 min
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich eingebetteter Systeme.

Advanced VLSI Design			
Advanced VLSI Design			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.92043	180	6	Sommersemester

Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:
Empfohlen: Grundlagen der Digitaltechnik / Grundlagen des VLSI-Entwurfs

None

Prerequisites of course Advanced VLSI Design:
Recommended: Fundamentals of Digital Circuits / Fundamentals of VLSI Design
Information: Unless otherwise specified, these are recommendations.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse über die moderne anwendungsorientierte Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese digitaler Systeme auf verschieden Abstraktionsebenen bis hin zum Chip-Layout. **Inhalt** Der Chipentwurf besteht in der heutigen Praxis aus der kombinierten Anwendung verschiedener Sprachen, Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Synthese elektronischer Schaltungen. Entlang des modernen abstraktionsebenbasierten Entwurfsflusses digitaler Systeme (Elektronische System Ebene bis hin zum Chiplayout) vermittelt die Veranstaltung grundlegendes Wissen der wesentlichen Beschreibungssprachen und ihrer Anwendung in Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese. Dies umfasst Grundprinzipien und Anwendung der IEEE Standard-System/Hardwarebeschreibungssprachen SystemVerilog, SystemC, Verilog und VHDL in Verbindung mit zusätzlichen Formaten wie z.B. SDF und UPF zur Annotation des Zeit- und Leistungsverhaltens. In der Anwendung werden die wesentlichen Prinzipien von Testumgebungen zur Simulation, der Zeit- und Leistungsanalyse, der Logiksynthese und des physikalischen Entwurfs digitaler Schaltungen. Die Übungen begleiten die Veranstaltung unter Verwendung kommerzieller Werkzeuge von Mentor Graphics, Synopsys und Cadence Design Systems. *Contents of the course Advanced VLSI Design:* **Short Description** The course provides basic knowledge about the modern application-oriented modeling, simulation, analysis, and synthesis of digital systems at different abstraction levels to chip layout. **Contents** In today's practice, chip design consists of the combined application of various languages, methods, and tools for the modeling, simulation, and synthesis of electronic circuits. Along the modern abstraction-based design flow of digital systems (electronic system level to chip layout), the course provides basic knowledge of the main description languages and their application in modeling, simulation, analysis and synthesis. This includes basic principles and application of the IEEE standard system/hardware description languages SystemVerilog, SystemC, Verilog, and VHDL, in conjunction with additional formats, e.g., SDF and UPF for time and power annotation. For their application, the fundamental principles of test environments for simulation, timing and power analysis, logic synthesis and physical design of digital circuits. Exercises will provide hands-on labs based on commercial tools from Mentor Graphics, Synopsys and, Cadence Design Systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden sind nach Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage • einfache digitale Schaltungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu modellieren, zu simulieren, zu analysieren und zu synthetisieren und • die wichtigsten kommerziellen Werkzeuge in der Simulation, Analyse und Synthese digitaler Schaltungen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach Besuch der Veranstaltung in der Lage • moderne Sprachen zur Beschreibung digitaler Schaltungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für die verschiedenen Anwendungen zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden und • die verschiedenen Methoden und Werkzeuge im modernen VLSI-Entwurf anzuwenden.

Domain competence:
After the course students are able

- to model, simulate, analyze and synthesize simple digital circuits at different abstraction levels and
- to apply the most important commercial tools for simulation, analysis and synthesis of digital circuits.

Key qualifications:
After the course students are able

- to assess, select and apply modern digital circuit description languages for their different applications,
- apply the different methods and tools in the modern VLSI design.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** apl. Prof. Dr. Wolfgang Mueller
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Lehrveranstaltungsseite** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und White-Board • Übungen mit Übungsblättern am Computer **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter werden über PAUL zur Verfügung gestellt • IEEE Standard-Referenzhandbücher: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Einzelliteratur zu einzelnen Lehreinheiten *Remarks of course Advanced VLSI Design:* **Course Homepage** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Implementation** * Vorlesung mit Beamer und White-Board * Übungen mit Übungsblättern am Computer * Lecture with LCD projector and white board * Exercises with assignments and hands-on labs **Teaching Material, Literature** • Lecture notes and exercise sheets will be provided via PAUL • IEEE standard reference manuals: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Specific references for individual teaching units

Approximate Computing

Approximate Computing

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4068	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	V3 Ü2	75	105	P	100/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	L3 Ex2	75	105	C	100/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Modulen Digitaltechnik und Rechnerarchitektur sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Approximate Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design and Computer Architecture are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Approximate Computing:* Approximate Computing ist ein aktueller Ansatz, der die Genauigkeit von Berechnungen reduziert und dadurch signifikante Einsparungen im Energieverbrauch, der Rechenzeit oder der Chipfläche erzielt. Dieser forschungsorientierte Kurs führt in das Gebiet des Approximate Computing ein und stellt die wesentlichen Methoden für die Implementierung effizienter Rechnersysteme durch Reduktion der Genauigkeit vor. Der Kurs behandelt Approximationstechniken auf allen Ebenen eines Rechnersystems, von der Anwendungsebene bis hin zur Ebene der Hardwaretechnologie. In den Übungen/Tutorium wird die Effizienz dieser Techniken für verschiedene Anwendungsdomänen, wie zum Beispiel Deep Learning und Digital Signal Processing, untersucht. • Einführung und Motivation für ungenaues Rechnen • Approximation in der Anwendungsebene, z.B. für maschinelles Lernen und digitale Signalverarbeitung • Programmiersprachen/Compiler für Approximate Computing • Approximation in der Mikroarchitektur • Automatisierte Synthese von approximierten Schaltungen • Ungenaue arithmetische Komponenten und Performanceoptimierung durch Reduktion der Genauigkeit • Approximationstechniken in der Technologieebene • Übungen/Tutorial: Approximation von Algorithem des Deep Learning und Digital Signal Processing *Contents of the course Approximate Computing:* Approximate Computing is an emerging paradigm that trades-off computational accuracy for a significant reduction in energy, execution time, or chip area. This research-oriented course introduces to the field of Approximate Computing and its most remarkable aspects, and explains the main methods used to implement efficient computing systems by reducing accuracy. The course discusses approximations at all levels of a computing system, from applications down to hardware technologies. In exercise/tutorial sessions the efficiency of these techniques in various domains are examined, including deep learning and digital signal processing. • Introduction and motivation for approximate computing • Approximation at the application level, e.g., in machine learning and digital signal processing • Programming languages/compilers for approximate computing • Approximate microarchitectures • Automated synthesis of approximate circuits • Inexact arithmetic components and performance optimization via accuracy trade-offs • Approximation techniques at the technology level • Exercises/tutorial: Approximating deep learning and digital signal processing algorithms

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die Approximationstechniken auf den unterschiedlichen Ebenen eines Rechnersystems zu benennen und zu erklären,
- die wesentlichen technischen/wissenschaftlichen Problemstellungen bei der Approximation von Rechnersystemen zu identifizieren,
- die Einsetzbarkeit der Approximationstechniken für verschiedene Anwendungsdomänen zu beurteilen und
- die Approximationstechniken anzuwenden, um effiziente Hardwarebeschleuniger zu realisieren, insbesondere für Deep Learning und Digital Signal Processing

After attending this course, the students are able

- to name and explain approximation techniques at all levels of a computing system,
- to identify major engineering/research problems when building approximate computing systems,
- to judge the suitability of approximation techniques for different application domains, and
- to apply approximation techniques to realize efficient hardware accelerators, in particular for deep learning and digital signal processing

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Methodische Umsetzung

- Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb
- Interaktive Übungen/Diskussionen im Hörsaal
- Rechnerübungen

Lernmaterialien, Literaturangaben

- Vorlesungsfolie und Aufgabenblätter
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Zusätzliche Ressourcen und Links auf aktuelle Publikationen werden in der Vorlesung zur Verfügung gestellt.

Remarks of course Approximate Computing:
Implementation method

- Lecture with projector and black/white board
- Interactive exercises/discussions in the lecture room
- Computer-based tutorials

Learning Material, Literature

- Lecture slides, exercise sheets, and tutorial assignments
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Additional resources and links to current research papers are provided in the lecture.

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt: • Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen – Signale und Rauschen – Modulation und Demodulation – Übertragungsverhalten von Funksystemen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier) • Mischer • Oszillatoren • Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Hardware Security			
Hardware Security			
Modulnummer / Module number: M.079.4211	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	K.079.42111 Hardware Security	V3 Ü2	75	105	P	30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	K.079.42111 Hardware Security	L3 Ex2	75	105	C	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Hardware Security:
Basiskenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Kryptographie

none

Prerequisites of course Hardware Security:
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Hardware Security:* Die gesamte Software, die wir nutzen und auf die wir uns verlassen, wird letztendlich auf tatsächlicher Hardware ausgeführt. Die Interaktionen zwischen der Software und der Hardware, auf der sie ausgeführt wird, werden immer komplexer. Daher kann sich sichere Software als unsicher erweisen, wenn sie auf bestimmter Hardware ausgeführt wird. Angreifer können Implementierungsfehler, Logikfehler oder Seitenkanäle wie Timing oder Cache-Zugriffe ausnutzen, um Anwendungen zu knacken oder Geheimnisse aus kryptographischen Implementierungen zu extrahieren. Diese Vorlesung behandelt verschiedene Themen zur Sicherung und Nutzung sicherer Hardware. Der Kurs umfasst die folgenden Inhalte: • Kurzer Hintergrund in Kryptographie • Sichere Programmierung und Implementierungsfehler • Eingebettete und sichere Hardware • Smartcards, U2F-Token • Timing- und mikroarchitektonische Angriffe • Passive und aktive Seitenkanalangriffe • Abwehrmaßnahmen gegen Seitenkanalangriffe • Trusted Platform Modules, Secure Boot • Trusted Execution Environments • Hardware Security Module *Contents of the course Hardware Security:* All of the software we use and rely on ends up being executed on actual hardware. The interactions between software and hardware it runs on are becoming more and more complex. Thus, secure software may turn out to be insecure when ran on particular hardware. Attackers can utilize implementation bugs, logic bugs, or side-channels like timing or cache access to break applications or extract secrets out of cryptographic implementations. This lecture will cover various topics of securing and using secure hardware. The course includes the following contents: • Brief background in cryptography • Secure programming and implementation bugs • Embedded and secure hardware • Smartcards, U2F tokens • Timing and micro-architectural attacks • Passive and active side-channel attacks • Side-channel attack defences • Trusted Platform Modules, Secure boot • Trusted Execution Environments • Hardware Security Modules
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können: • Häufige Software- und Hardware-Schwachstellen identifizieren, die sichere Systeme gefährden, einschließlich Speicherfehlern und API-Missbrauch. • Die Grundideen hinter Seitenkanal- und Timing-Angriffen erklären. • Allgemeine Ansätze zum Schutz von Implementierungen vor diesen Angriffen identifizieren. • Die Architektur, Bedrohungsmodelle und Sicherheitseigenschaften von vertrauenswürdigen Hardwarekomponenten wie TPMs, TEEs und Smartcards beschreiben.

Students will be able to

- Identify common software and hardware vulnerabilities that undermine secure systems, including memory bugs and API misuse.
- Explain the basic ideas behind side-channel and timing attacks.
- Identify general approaches to protecting implementations against these attacks.
- Describe the architecture, threat models, and security properties of trusted hardware components like TPMs, TEEs, and smartcards.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

	The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Jan Jancar
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Hardware Security:* **Methodische Umsetzung** Die Themen werden durch Vorlesungspräsentationen vermittelt, wobei die Beteiligung der Studierenden und Fragen erwartet werden. Tutorien ergänzen dies um praktische Aufgaben zum Material. Schließlich erfordern Hausaufgaben Einzelarbeit und das Selbststudium von zusätzlichem Material. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungs- und Tutoriumsfolien • The Hardware Hacking Handbook (ISBN: 9781593278748) und die dazugehörigen Notebooks auf hardwarehacking.io • Power Analysis Attacks: Revealing the Secrets of Smart Cards (ISBN 9780387308579) • Embedded Cryptography 1 (ISBN: 9781394351879) • Embedded Cryptography 2 (ISBN: 9781394351909) • Embedded Cryptography 3 (ISBN: 9781394351930) *Remarks of course Hardware Security:* **Implementation Method** The topics are conveyed through lecture presentations with student participation and questions expected. Tutorials add hands-on tasks involving the material. Finally, homework assignments require individual work and self-study of additional material. **Learning Material, Literature** • Lecture and tutorial slides • The Hardware Hacking Handbook (ISBN: 9781593278748) and its associated notebooks at hardwarehacking.io • Power Analysis Attacks: Revealing the Secrets of Smart Cards (ISBN 9780387308579) • Embedded Cryptography 1 (ISBN: 9781394351879) • Embedded Cryptography 2 (ISBN: 9781394351909) • Embedded Cryptography 3 (ISBN: 9781394351930)

Machine Learning 1

Machine Learning 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4032	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

none

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie den gesamten Prozess des maschinellen Lernens. • können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens für Klassifizierung und Regression implementieren und in der Praxis anwenden. Gegebenenfalls können sie auch notwendige Anpassungen vornehmen. • verstehen praktische Tools für die Modellvalidierung und für das automatisierte maschinelle Lernen und können diese anwenden. • bewerten die Vor- und Nachteile des Einsatzes verschiedener Techniken des maschinelles Lernen in verschiedenen Situationen.

The students

- understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, and the complete machine learning pipeline.
- implement basic methods of supervised learning for classification and regression, apply them to real-world examples, and make necessary adaptations.
- understand and use practical tools for model validation and automated machine learning pipelines.
- assess the advantages and disadvantages of using various machine learning techniques in various situations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Model-Based Systems Engineering			
Model-Based Systems Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.4062	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.079.05810 Model-Based Systems Engineering	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05810 Model-Based Systems Engineering	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen des Systems Engineerings

none

Prerequisites of course Model-Based Systems Engineering:
Recommended Proficiencies
Basics of Systems Engineerings

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:* Durch den technischen Wandel von mechatronischen zu intelligenten technischen Systemen (ITS) stehen Unternehmen und Entwicklungsteams vor vielen Herausforderungen. Wesentlich ist die Zunahme der Komplexität und Vernetzung von Systemen (Produkte). Bestehende Ansätze in der Produktentstehung können diese nicht effizient und effektiv abdecken. Model-based Systems Engineering (MBSE) stellt sich hierfür als vielversprechender Ansatz auf, die Herausforderungen zu lösen. MBSE sieht sich als Weiterentwicklung des Systems Engineerings und baut auf dessen Grundlagen auf. Dabei wird das Systems Engineering, welches primär auf Dokumenten basiert durch die Einführung von Modellen erweitert. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Intelligente technische Systeme • Model-based Systems Engineering 101 • Systems Modelling Grundlagen • Sprachen und Methoden - CONSENS, SysML • Systems Architecting • IT-Tools für MBSE *Contents of the course Model-Based Systems Engineering:* Due to the technical change from mechatronic to intelligent technical systems (ITS), companies and development teams are facing many challenges. A key factor is the increase in complexity and networking of systems (products). Existing approaches in product development cannot cover this efficiently and effectively. Model-based Systems Engineering (MBSE) presents itself as a promising approach to solve these challenges. MBSE sees itself as a further development of systems engineering and builds on its foundations. Systems engineering, which is primarily based on documents, is extended by the introduction of models. The course includes the following content: • Intelligent Engineering Systems • Model-based Systems Engineering 101 • Systems Modeling Fundamentals • Languages and Methods - CONSENS, SysML • Systems Architecting • IT Tools for MBSE
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • erwerben durch die Veranstaltung ein solides Verständnis über Model-Based System Engineering, • kennen verschiedene Methoden, Sprachen und Werkzeuge, • können das erlangte Wissen anwenden • können eigenständig Lösungen erarbeiten und gegenüber den Dozenten kommunizieren.

The students

- acquire a solid understanding of Model-Based System Engineering
- know different methods, languages, and tools
- are able to apply the knowledge they have gained
- are able to work out solutions independently and communicate them to the lecturers.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:* **Methodische Umsetzung** Das Modul besteht aus zwei Teilen 1. Vorlesung mit Folien (Lecture): Grundlagen und Konzepte werden in der Vorlesung erklärt und anhand von Beispielen veranschaulicht. 2. Übungen (Tutorial): In der Übung erfolgt ein Wissenstransfer und Anwendung der Konzepte. Die Übungen sind in Eigenarbeit vorzubereiten. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in industrial practice. Heinz Nixdorf Institute, University Paderborn, 2013, Unter: https://www.hni.uni-paderborn.de/en/spe/systemsengineering/ • Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O.; Stark, R.;Gausemeier, J. (Eds): Engineering in Germany – Status quo in Business and Science. Federal Ministry of Education and Research, 2021 Unter: https://www.advanced-systems-engineering.de/#studie • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Model-Based Systems Engineering:* **Implementation Method** The module consists of two parts 1. lecture with slides: basics and concepts are explained in the lecture and illustrated with examples. 2. exercises (tutorial): In the exercises, knowledge is transferred and the concepts are applied. The exercises have to be prepared by the students themselves. **Learning Material, Literature** • Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in industrial practice. Heinz Nixdorf Institute, University Paderborn, 2013, Under: https://www.hni.uni-paderborn.de/en/spe/systemsengineering/ • Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O.; Stark, R.;Gausemeier, J. (Eds): Engineering in Germany – Status quo in Business and Science. Federal Ministry of Education and Research, 2021 Under: https://www.advanced-systems-engineering.de/#studie • Additional literature will be announced in the course.

Reconfigurable Computing			
Reconfigurable Computing			
Modulnummer / Module number: M.079.4043	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Lehrveranstaltungen Digitaltechnik, Programmierung und Datenstrukturen und Algorithmen sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Reconfigurable Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design, Programming, and Data Structures and Algorithms are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* Die Veranstaltung Reconfigurable Computing führt in das Gebiet des Rechnens mit reprogrammierbaren Hardwarestrukturen ein. Rechnersysteme, die aus reprogrammierbaren Hardwarestrukturen aufgebaut sind, sind nicht auf eine feste Hardware angewiesen, sondern passen ihre Hardwarearchitektur an die auszuführende Anwendung an. Der Bereich entstand Anfang der 1990er Jahre, als Field-programmable Gate Arrays (FPGAs) auf den Markt kamen, die leistungsfähig genug waren, um für das Rechnen verwendet zu werden. Heute übertreffen FPGA-basierte Hochleistungssysteme bei vielen Problemen wie der Datenbanksuche, dem Scannen genomischer Sequenzen und der Kryptografie die modernsten Computer. In eingebetteten Systemen beschleunigen FPGAs die Systemfunktionen, reduzieren die Systemkosten und den Energieverbrauch und ermöglichen Hardware-on-demand-Funktionalität. Die Veranstaltung deckt die folgenden Themen ab: • Einführung in Reconfigurable Computing • Entwicklung von programmierbaren Hardware-Bausteinen • FPGA-Architekturen • Computergestütztes Design für FPGAs • Hochsprachen für die Programmierung von FPGAs • Anwendungsbereiche für FPGAs • Vergleich von reprogrammierbaren Hardwarebausteinen, Technologien und rekonfigurierbaren Systemen *Contents of the course Reconfigurable Computing:* The course Reconfigurable Computing introduces into the field of computing with reprogrammable hardware structures. Computing systems built from reprogrammable hardware structures do not rely on a fixed hardware, but adapt their hardware architecture to the application under execution. The field was formed in the early 1990s when Field-programmable Gate Arrays (FPGAs) became commercially available that were powerful enough to be used for computing. Today, FPGA-based high-performance systems have outperformed state-of-the-art computers for many problems including database search, genomic sequence scanning, and cryptography. In embedded systems, FPGAs accelerate system functions, reduce system cost and energy consumption, and enable hardware-on-demand functionality. The course covers the following topics: • Introduction to reconfigurable computing • Evolution of programmable hardware devices • FPGA architectures • Computer-aided design for FPGAs • High-level languages for programming FPGAs • Application domains for FPGAs • Comparison of devices, technologies, and reconfigurable systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- verschiedene reprogrammierbare Hardwarebausteine vergleichen und deren geschichtliche Entwicklung schildern,
- die Entwurfsschritte und Problemstellungen beim Entwurf mit FPGAs benennen,
- Algorithmen für die Entwurfsschritte analysieren und an Beispielen anwenden,
- aktuelle Ansätze zur Programmierung von FPGAs vergleichen und bewerten,
- die Eignung verschiedener reprogrammierbare Hardwarebausteine für verschiedene Einsatzgebiete begründen und
- Funktionen mittlerer Komplexität mit modernen FPGA Entwurfswerkzeugen praktisch umsetzen.

Students will be able to

- compare different reprogrammable hardware devices and describe their historical development,
- name the design steps and problems when designing with FPGAs,
- analyse algorithms for the design steps and apply them to examples,
- compare and evaluate current approaches to programming FPGAs,
- justify the suitability of different reprogrammable hardware components for different areas of application, and
- implement functions of medium complexity with modern FPGA design tools.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* **Methodische Umsetzung** Die Lehrveranstaltung besteht aus einer Vorlesung und Rechen- sowie praktischen Übungen. Die Vorlesung erfolgt mit Beamer und Tafelanschrieb. In den Rechenübungen werden Aufgaben ausgegeben und deren Lösungen werden in einer Übungseinheit vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich werden Quizze zur Selbsteinschätzung angeboten. In den praktischen Übungen wird ein Tutorial zum Entwurf mit FPGAs durchgeführt und dann Aufgaben ausgegeben, die in Gruppen von einem bis drei Teilnehmern als Entwurfs- bzw. Programmierbeispiele umgesetzt werden. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien, Aufgabenblätter für Rechenübungen, Quizze • Tutorial, Aufgabenblätter für Entwurfs- und Programmierbeispiele, technische Dokumentationen • Ausgewählte wissenschaftliche Artikel • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben.

Remarks of course Reconfigurable Computing:
Implementation Method
The course consists of a lecture, and pencil&paper as well as practical exercises. The lecture is held with a beamer and blackboard. In the pencil&paper exercises, problems are handed out and their solutions are presented and discussed in a practice session. In addition, quizzes are offered for self-assessments. In the practical exercises, a tutorial on the design with FPGAs is carried out and then tasks are handed out, which are implemented as design or programming examples in groups of one to three participants.
Learning Material, Literature

- Lecture slides, assignment sheets for paper&pencil exercises, quizzes
- Tutorial, assignment sheets for design and programming examples, technical documentation
- Selected scientific articles
- Additional literature will be announced in the course.

Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies			
Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies			
Modulnummer / Module number: M.048.23023	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
Keine

None

Prerequisites of course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* Die Lehrveranstaltung vermittelt Methoden und Architekturen für die ressourceneffiziente Ausführung moderner KI-Anwendungen unter Berücksichtigung von Leistungs-, Energie- und Speicherrestriktionen. Behandelte Themen umfassen: • Grundlagen des Deep Learning und Trainingsverfahren • Charakteristika moderner KI-Workloads (z. B. CNNs und Transformer) • Rechen-, Speicher- und Energieengpässe bei der KI-Inferenz • Methoden zur effizienten Modellgestaltung und -optimierung: – Quantisierung – Pruning und Sparsity – Knowledge Distillation – Effiziente neuronale Netze (z. B. MobileNet) • Abbildung von KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen • Architekturen für KI-Beschleunigung: – SIMD- und Vektorarchitekturen – GPU-Architekturen – Dataflow-Architekturen und systolische Arrays – NPUs und domänenspezifische Beschleuniger • Hardware-Software-Co-Design für effiziente KI-Systeme *Contents of the course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* The course introduces methods and architectures for resource-efficient execution of modern artificial intelligence applications under performance, energy, and memory constraints. Topics include: • Fundamentals of deep learning and training methodologies • Characteristics of modern AI workloads (e.g., CNNs and transformers) • Computational, memory, and energy bottlenecks during AI inference • Techniques for efficient model design and optimization: – Quantization – Pruning and sparsity – Knowledge distillation – Efficient neural network architectures (e.g., MobileNet) • Mapping AI workloads onto hardware platforms • Architectures for AI acceleration: – SIMD and vector architectures – GPU architectures – Dataflow architectures and systolic arrays – Neural Processing Units (NPUs) and domain-specific accelerators • Hardware-software co-design for efficient AI systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- grundlegende Prinzipien des Deep Learning aus einer Systemperspektive einzuordnen,
- KI-Workloads hinsichtlich ihrer Rechen-, Speicher- und Kommunikationsanforderungen zu analysieren,
- Performance-, Energie- und Speicherengpässe zu identifizieren,
- Methoden zur Modelloptimierung gezielt anzuwenden,
- KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen abzubilden und zu bewerten,
- verschiedene Architekturen für KI-Beschleunigung zu vergleichen,
- Trade-offs zwischen Genauigkeit, Latenz, Durchsatz und Energieeffizienz zu analysieren,
- Hardware-Software-Co-Design-Methoden für ressourceneffiziente KI-Systeme anzuwenden.

After successful completion of the module, students are able to:

- explain fundamental principles of deep learning from a systems perspective,
- analyze AI workloads with respect to computational, memory, and communication requirements,
- identify performance, energy, and memory bottlenecks,
- apply model optimization techniques to improve efficiency,
- map AI workloads onto different hardware platforms and evaluate their suitability,
- compare different architectures for AI acceleration,
- analyze trade-offs between accuracy, latency, throughput, and energy efficiency,
- apply hardware-software co-design methodologies for resource-efficient AI systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Lennart Bamberg
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** PANDA (mehr Informationen werden in der ersten Vorlesung gegeben) **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** PANDA (more information will be provided in the first lecture) **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

VLSI-Testing			
VLSI-Testing			
Modulnummer / Module number: M.048.92027	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung VLSI Testing:
Empfohlen: Digitaltechnik

None

Prerequisites of course VLSI Testing:
Recommended: Digital Design

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "VLSI Testing" behandelt systematische Verfahren zur Erkennung von Hardware-Defekten in mikroelektronischen Schaltungen. Es werden sowohl Algorithmen zur Erzeugung und Auswertung von Testdaten als auch Hardwarestrukturen zur Verbesserung der Testbarkeit und für den eingebauten Selbsttest vorgestellt. **Inhalt** Im einzelnen werden die folgenden Themen behandelt: • Fehlermodelle • Testbarkeitsmaße und Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit • Logik- und Fehlersimulation • Algorithmen zur Testmustererzeugung • Selbsttest, insbesondere Testdatenkompression und Testantwortkompaktierung • Speichertest *Contents of the course VLSI Testing:* **Short Description** The course "VLSI Testing" focuses on techniques for detecting hardware defects in microelectronic circuits. Algorithms for test data generation and test response evaluation as well as hardware structures for design for test (DFT) and on-chip test implementation (BIST) are presented. **Contents** In detail the following topics are covered: • Fault models • Testability measures and design for test (DFT) • Logic and fault simulation • Automatic test pattern generation (ATPG) • Built-in self-test (BIST), in particular test data compression and test response compaction • Memory test
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Fehlermodelle, Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit und Werkzeuge zur Unterstützung des Tests zu beschreiben, • die grundlegenden Modelle und Algorithmen für Fehlersimulation und Test zu erklären und anzuwenden, sowie • Systeme im Hinblick auf ihre Testbarkeit zu analysieren und geeignete Teststrategien auszuwählen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden können • die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen, • ihre Lösungen den anderen Teilnehmern präsentieren und • die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to describe fault models, DFT techniques, and test tools,
- to explain and apply the underlying models and algorithms for fault simulation and test generation,
- to analyze systems with respect to their testability and to derive appropriate test strategies.

Key qualifications:
The students

- are able to apply the practiced strategies for problem solving across varying disciplines,
- have experience in presenting their solutions to their fellow students, and
- know how to improve their competences by private study.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sybille Hellebrand
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/date/lehre/uebersicht` **Methodische Umsetzung** * Vorlesung mit Beamer und Tafel * Präsenzübungen in kleinen Gruppen mit Übungsblättern zu den theoretischen Grundlagen, Präsentation der Lösungen durch Übungsteilnehmer * Praktische Übungen mit verschiedenen Software-Werkzeugen am Rechner **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle Hinweise auf ergänzende Literatur und Lehrmaterialien im jeweiligen panda-Kurs • Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000 • Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

Remarks of course VLSI Testing:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/electrical-engineering/date/teaching/electrical-engineering/overview`
Implementation

- Lecture based on slide presentation, extensions on blackboard
- Exercises in small groups based on exercise sheets with students presenting their own solutions
- Hands-on exercises using various software tools

Teaching Material, Literature
Additional material can be found in panda

- Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000
- Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

2.5 Vertiefungsgebiet “Nano/Microelectronics”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Nano/Microelectronics / Nano/Microelectronics
Module / Modules	* Advanced VLSI Design * High Frequency Engineering * Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation * Machine Learning I * Modern Semiconductor Lasers * Optoelectronics * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * Theory and Design of Integrated Photonic Devices * Theory and Design of Phase-locked Loops * VLSI Testing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Prüfungsform / Type of examination	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat / Written or Oral Examination or Presentation
Dauer bzw. Umfang / Duration or Scope	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min / 120-180 min or 30-45 min or 30 min
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich der Nano- und Mikroelektronik.

Advanced VLSI Design			
Advanced VLSI Design			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.92043	180	6	Sommersemester

Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:
Empfohlen: Grundlagen der Digitaltechnik / Grundlagen des VLSI-Entwurfs

None

Prerequisites of course Advanced VLSI Design:
Recommended: Fundamentals of Digital Circuits / Fundamentals of VLSI Design
Information: Unless otherwise specified, these are recommendations.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse über die moderne anwendungsorientierte Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese digitaler Systeme auf verschieden Abstraktionsebenen bis hin zum Chip-Layout. **Inhalt** Der Chipentwurf besteht in der heutigen Praxis aus der kombinierten Anwendung verschiedener Sprachen, Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Synthese elektronischer Schaltungen. Entlang des modernen abstraktionsebenbasierten Entwurfsflusses digitaler Systeme (Elektronische System Ebene bis hin zum Chiplayout) vermittelt die Veranstaltung grundlegendes Wissen der wesentlichen Beschreibungssprachen und ihrer Anwendung in Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese. Dies umfasst Grundprinzipien und Anwendung der IEEE Standard-System/Hardwarebeschreibungssprachen SystemVerilog, SystemC, Verilog und VHDL in Verbindung mit zusätzlichen Formaten wie z.B. SDF und UPF zur Annotation des Zeit- und Leistungsverhaltens. In der Anwendung werden die wesentlichen Prinzipien von Testumgebungen zur Simulation, der Zeit- und Leistungsanalyse, der Logiksynthese und des physikalischen Entwurfs digitaler Schaltungen. Die Übungen begleiten die Veranstaltung unter Verwendung kommerzieller Werkzeuge von Mentor Graphics, Synopsys und Cadence Design Systems. *Contents of the course Advanced VLSI Design:* **Short Description** The course provides basic knowledge about the modern application-oriented modeling, simulation, analysis, and synthesis of digital systems at different abstraction levels to chip layout. **Contents** In today's practice, chip design consists of the combined application of various languages, methods, and tools for the modeling, simulation, and synthesis of electronic circuits. Along the modern abstraction-based design flow of digital systems (electronic system level to chip layout), the course provides basic knowledge of the main description languages and their application in modeling, simulation, analysis and synthesis. This includes basic principles and application of the IEEE standard system/hardware description languages SystemVerilog, SystemC, Verilog, and VHDL, in conjunction with additional formats, e.g., SDF and UPF for time and power annotation. For their application, the fundamental principles of test environments for simulation, timing and power analysis, logic synthesis and physical design of digital circuits. Exercises will provide hands-on labs based on commercial tools from Mentor Graphics, Synopsys and, Cadence Design Systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden sind nach Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage • einfache digitale Schaltungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu modellieren, zu simulieren, zu analysieren und zu synthetisieren und • die wichtigsten kommerziellen Werkzeuge in der Simulation, Analyse und Synthese digitaler Schaltungen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach Besuch der Veranstaltung in der Lage • moderne Sprachen zur Beschreibung digitaler Schaltungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für die verschiedenen Anwendungen zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden und • die verschiedenen Methoden und Werkzeuge im modernen VLSI-Entwurf anzuwenden.

Domain competence:
After the course students are able

- to model, simulate, analyze and synthesize simple digital circuits at different abstraction levels and
- to apply the most important commercial tools for simulation, analysis and synthesis of digital circuits.

Key qualifications:
After the course students are able

- to assess, select and apply modern digital circuit description languages for their different applications,
- apply the different methods and tools in the modern VLSI design.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** apl. Prof. Dr. Wolfgang Mueller
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Lehrveranstaltungsseite** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und White-Board • Übungen mit Übungsblättern am Computer **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter werden über PAUL zur Verfügung gestellt • IEEE Standard-Referenzhandbücher: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Einzelliteratur zu einzelnen Lehreinheiten *Remarks of course Advanced VLSI Design:* **Course Homepage** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Implementation** * Vorlesung mit Beamer und White-Board * Übungen mit Übungsblättern am Computer * Lecture with LCD projector and white board * Exercises with assignments and hands-on labs **Teaching Material, Literature** • Lecture notes and exercise sheets will be provided via PAUL • IEEE standard reference manuals: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Specific references for individual teaching units

Einführung in die Hochfrequenztechnik			
Introduction to High-Frequency Engineering			
Modulnummer / Module number: M.048.40003	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.11004 Einführung in die Hochfrequenztechnik	2V 2Ü, WS	60	120	WP	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.11004 Introduction to High-Frequency Engineering	2L 2Ex, WS	60	120	CE	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

None

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Einführung in die Hochfrequenztechnik:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus den Modulen Höhere Mathematik und Grundlagen der Elektrotechnik.

None

Prerequisites of course Einführung in die Hochfrequenztechnik:
Recommended: Prior knowledge from the modules Higher Mathematics and Foundations of Electrical Engineering.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Einführung in die Hochfrequenztechnik:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung Einführung in die Hochfrequenztechnik vermittelt Grundkenntnissen der Hochfrequenztechnik insbesondere mit Bezug auf die leitungsgebundene Signalausbreitung auf Leiterplatten und in integrierten Schaltkreisen, die für den Entwurf elektronischer Schaltungen bei hohen Frequenzen sowie in den weiterführenden Lehrveranstaltungen Hochfrequenztechnik, Optische Nachrichtentechnik und Hochfrequenzelektronik benötigt werden. **Inhalt** Im ersten Teil der Veranstaltung Einführung in die Hochfrequenztechnik werden ausgehend von konkreten Wellenleiterstrukturen die primären Leitungskonstanten sowie ein Ersatzschaltbild eingeführt und auf dieser Grundlage die Telegraphengleichung für verschiedene Randbedingungen gelöst. Speziell werden stationäre Prozesse und verlustlose Leitungen betrachtet sowie das Leitungsdiagramm eingeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden zur Dimensionierung von Schaltungen aus verteilten und konzentrierten Elementen, insbesondere von Anpassnetzwerken eingesetzt. Im zweiten Teil der Veranstaltung werden hochfrequenztechnische Aspekte der Netzwerktheorie behandelt. Insbesondere werden Schaltungen aus verteilten und konzentrierten Elementen mit Hilfe der Streuparameter einheitlich beschrieben, auf deren Grundlage klassifiziert und Gewinndefinitionen abgeleitet. *Contents of the course Einführung in die Hochfrequenztechnik:* **Short Description** The course Introduction to High-Frequency Engineering provides basic knowledge of high-frequency engineering in particular with respect to signal propagation along transmission lines on circuit boards and integrated circuits. This knowledge is prerequisite for the continuative courses High-Frequency Engineering, Optical Communication, and High-Frequency Electronics. **Contents** In the first part of the course Introduction to High-Frequency Engineering, an equivalent circuit togehther with primary transmission line parameter is introduced. The resulting telegraph equation is solved for various boundary conditions. In particular, stationary processes and lossless transmission lines are considered and the Smith diagram is introduced. The gained knowledge is used to dimension circuits comprising distributed and lumped components, in particular matching networks. In the second part, high-frequency aspects of circuit theory are covered. In particular, circuits comprising distributed and lumped elements are consistently described and classified by scattering parameters, and gain definitions are derived.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • passive Schaltungen aus verteilten und konzentrierten Elementen zu beschreiben, • zu analysieren • und zu entwerfen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können methodisches Wissen bei der systematischen Problemanalyse einsetzen, • lernen das industrieübliche CAD-System ADS kennen • und erwerben fachbezogene Fremdsprachenkompetenz.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- describe circuits comprising distributed and lumped components,
- to analyze,
- and to design the latter.

Key qualifications:
The students

- can use of methodic knowledge for systematic problem analysis,
- get familiar with the CAD system ADS, which is commonly used in industry
- and gain foreign language competences related to the field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Andreas Thiede

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:**
	
	Hinweise der Lehrveranstaltung Einführung in die Hochfrequenztechnik:
	Lehrveranstaltungsseite
	`http://groups.uni-paderborn.de/hfe/lehre/hft.html`
	Methodische Umsetzung
	
	• Vorlesungen mit überwiegendem Tafeleinsatz, unterstützt durch Animationen und Folien,
	• Präsenzübungen mit Aufgabenblättern, deren Lösungen die Studierenden in der Übung gemeinsam und mit Unterstützung des Übungsleiters, teilweise unter Einsatz von CAD-Software erarbeiten.
	
	Lernmaterialien, Literaturangaben
	A. Thiede, Einführung in die Hochfrequenztechnik, Vorlesungsskript Universität Paderborn weiterführende und vertiefende Literatur A. Thiede, Integrierte Hochfrequenzschaltkreise, Springer Vieweg Verlag (YDA2058) P. Vielhauer, Lineare Netzwerke, Verlag Technik und Hüthig (65 YCF 1469) M. Hoffmann, Hochfrequenztechnik, Springer Verlag (51 YDA 1913) O. Zinke, H. Brunswig, Hochfrequenztechnik, Bd.1+2, Springer Verlag (51 YDA 1086) G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall (51 YEP 3142) P.C.L. Yip, High-Frequency Circuit Design and Measurements, Chapman&Hall (51 YDA 1751) R.E. Collin, Foundations for Microwave Engineering, Mc Graw-Hill (51 YGA 1240)
	
	Remarks of course Einführung in die Hochfrequenztechnik:
	Course Homepage
	`http://groups.uni-paderborn.de/hfe/teaching/hft.html`
	Implementation
	
	• Lectures with black board presentation, supported by animated graphics and transparencies,
	• Presence exercises with task sheets to be solved by the students together, supported by the teacher, and partially using CAD software.
	
	Teaching Material, Literature
	A. Thiede, Einführung in die Hochfrequenztechnik, Vorlesungsskript Universität Paderborn continuative and deepening literature A. Thiede, Integrierte Hochfrequenzschaltkreise, Springer Vieweg Verlag (YDA2058) P. Vielhauer, Lineare Netzwerke, Verlag Technik und Hüthig (65 YCF 1469) M. Hoffmann, Hochfrequenztechnik, Springer Verlag (51 YDA 1913) O. Zinke, H. Brunswig, Hochfrequenztechnik, Bd.1+2, Springer Verlag (51 YDA 1086) G. Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall (51 YEP 3142) P.C.L. Yip, High-Frequency Circuit Design and Measurements, Chapman&Hall (51 YDA 1751) R.E. Collin, Foundations for Microwave Engineering, Mc Graw-Hill (51 YGA 1240)

High Frequency Engineering			
High Frequency Engineering			
Modulnummer / Module number: M.048.92002	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92002 High Frequency Engineering	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92002 High Frequency Engineering	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung High Frequency Engineering:
Keine

None

Prerequisites of course High Frequency Engineering:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung High Frequency Engineering:* **Kurzbeschreibung** Diese Vorlesung vermittelt anwendungsorientierte Kenntnisse in der Hochfrequenztechnik. Ferner werden Kenntnisse über aktive und passive Hochfrequenzschaltungen vermittelt. **Inhalt** Die Veranstaltung Hochfrequenztechnik erweitert das in der Veranstaltung Theoretische Elektrotechnik erworbene Wissen um weitere anwendungsrelevante Anteile. Ziel ist es, die Hörer für Entwicklungsarbeiten z.B. im hochfrequenten Teil eines Mobiltelefons zu befähigen. Gesichtspunkte der Hochfrequenztechnik sind aber auch schon in gängigen Digitalschaltungen zu berücksichtigen. Die Schwerpunkte der Veranstaltung sind passive Baugruppen, Hochfrequenzeigenschaften der Transistorgrundschaltungen, lineare und nichtlineare Verstärker, rauschende Mehrtore, Mischer, Oszillatoren, Synchronisation und Phasenregelschleife. *Contents of the course High Frequency Engineering:* **Short Description** This lecture gives application-oriented knowledge in high frequency engineering. Furthermore, it gives knowledge in active and passive high-frequency circuits. **Contents** The lecture High-Frequency Engineering extends the content of the lecture Theoretische Elektrotechnik by further application-relevant knowledge. The aim is to qualify the students for development tasks for example in the radio frequency part of a mobile telephone. But considerations of high-frequency engineering are also needed in prevalent digital circuits. The emphases of the lecture are passive devices, high-frequency properties of fundamental transistor circuits, linear and nonlinear amplifiers, noisy multiports, mixers, oscillators, injection-locking and phase-locked loop.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachliche Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang die Funktionsweise von Komponenten, Schaltungen und Systemen der Hochfrequenztechnik zu verstehen, diese zu modellieren und anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden **Professional Competence** After attending the course, the students will be able, in the taught extent, to understand the function of components, circuits and systems of high-frequency engineering, to model and to apply them. **(Soft) Skills** The students • are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines, • are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and • are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Reinhold Noé

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung High Frequency Engineering:

ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS
Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet.

Lehrveranstaltungsseite
`http://ont.upb.de`
Methodische Umsetzung
Vorlesung und Übung
Lernmaterialien, Literaturangaben
Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug):

- Thiede, A.: Skriptum Hochfrequenzelektronik/High-Frequency Electronics, Universität Paderborn
- Sze, S. M.: High Speed Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1990
- Herbst, L. J.: Integrated Circuit Engineering, Oxford University Press, 1996
- Yip, P. C. L.: High-Frequency Circuit Design and Measurement, Chapman & Hall, 1996
- Gonzalez, G.: Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall, 1997
- Hoffmann, M.: Hochfrequenztechnik, Springer, 1997

Remarks of course High Frequency Engineering:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Implementation
Lecture and exercise
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Thiede, A.: Skriptum Hochfrequenzelektronik/High-Frequency Electronics, Universität Paderborn
- Sze, S. M.: High Speed Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1990
- Herbst, L. J.: Integrated Circuit Engineering, Oxford University Press, 1996
- Yip, P. C. L.: High-Frequency Circuit Design and Measurement, Chapman & Hall, 1996
- Gonzalez, G.: Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall, 1997
- Hoffmann, M.: Hochfrequenztechnik, Springer, 1997

Machine Learning 1

Machine Learning 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4032	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

none

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie den gesamten Prozess des maschinellen Lernens. • können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens für Klassifizierung und Regression implementieren und in der Praxis anwenden. Gegebenenfalls können sie auch notwendige Anpassungen vornehmen. • verstehen praktische Tools für die Modellvalidierung und für das automatisierte maschinelle Lernen und können diese anwenden. • bewerten die Vor- und Nachteile des Einsatzes verschiedener Techniken des maschinelles Lernen in verschiedenen Situationen.

The students

- understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, and the complete machine learning pipeline.
- implement basic methods of supervised learning for classification and regression, apply them to real-world examples, and make necessary adaptations.
- understand and use practical tools for model validation and automated machine learning pipelines.
- assess the advantages and disadvantages of using various machine learning techniques in various situations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Modern Semiconductor Lasers			
Modern Semiconductor Lasers			
Modulnummer / Module number: M.048.26012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Empfohlen:
Vertrautheit mit grundlegenden Konzepten der Optik, Quantenmechanik und Halbleiterphysik ist jedoch sehr zu empfehlen.

None

Prerequisites of course Modern Semiconductor Lasers:
Recommended:
The familiarity with basic concepts from optics, quantum mechanics and semiconductor physics is highly recommended.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Halbleiterlaser sind zentrale Lichtquellen der modernen Photonik und ermöglichen Anwendungen, die von der optischen Kommunikation und Sensorik bis hin zu Quantentechnologien reichen. Neben einer Wiederholung der physikalischen Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs konzentriert sich dieser Kurs auf aktuelle Fortschritte und neue Entwicklungsrichtungen, die das Fachgebiet maßgeblich prägen. Die Teilnehmenden lernen neuartige Laserkonzepte kennen, die auf photonischen Kristallen, Nanophotonik, Spintronik, Topologie und nicht-hermitescher Physik basieren, sowie die theoretischen Ansätze, die zur Beschreibung dieser Bauelemente über die konventionelle Lasertheorie hinaus erforderlich sind.
Zu den behandelten Themen gehören:

- Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs: Verstärkungsmedien, Laserdynamik, Modulationsverhalten und Linienbreite
- Modernste Halbleiterlaser-Technologien und deren Leistungsgrenzen
- Oberflächenemittierende Laser auf Basis photonischer Kristalle (PCSELs) und skalierbare Einmoden-Hochleistungsemission
- Nanolaser, Hohlraum-Quantenelektrodynamik (Cavity QED) und schwellenloser Laserbetrieb
- Spinlaser und neue Ansätze zur ultraschnellen Informationskodierung
- Laser auf Basis gebundener Zustände im Kontinuum (BIC) und topologische Laser
- Aufstrebende Konzepte, darunter supersymmetrische, PT-symmetrische, Dirac-, polaritonische und plasmonische Laser
- Fortgeschrittene theoretische Themen: nicht-hermitesche Effekte, Quantenrauschen, komplexe Verstärkungsmedien und moderne numerische Verfahren für großskalige Lasersysteme

Contents of the course Modern Semiconductor Lasers:
Semiconductor lasers are the key light sources of modern photonics, enabling applications ranging from optical communications and sensing to quantum technologies. While reviewing the fundamental principles of semiconductor laser operation, this course focuses on recent advances and emerging directions that are reshaping the field. Participants will explore novel laser concepts based on photonic crystals, nanophotonics, spintronics, topology, and non-Hermitian physics, as well as the theoretical frameworks required to describe these devices beyond conventional laser theory.
Topics covered include:

- Fundamentals of semiconductor laser operation: gain media, laser dynamics, modulation response, and linewidth
- State-of-the-art semiconductor laser technologies and their performance limits
- Photonic-crystal surface-emitting lasers (PCSELs) and scalable single-mode high-power emission
- Nanolasers, cavity quantum electrodynamics, and thresholdless lasing
- Spin lasers and new approaches to ultrafast information encoding
- Bound-state-in-continuum (BIC) lasers and topological lasers
- Emerging concepts including supersymmetric, PT-symmetric, Dirac, polaritonic, and plasmonic lasers
- Advanced theoretical topics: non-Hermitian effects, quantum noise, complex gain media, and modern computational approaches for large-scale laser systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Kurses sind die Teilnehmenden in der Lage, die physikalischen Prinzipien zu erläutern, die dem Betrieb von Halbleiterlasern zugrunde liegen – einschließlich optischer Verstärkung, Laserdynamik, Modulationsverhalten und der Ursachen der Linienbreite. Sie können etablierte Halbleiterlaser-Technologien analysieren und vergleichen sowie deren Leistungsgrenzen bewerten. Darüber hinaus entwickeln die Teilnehmenden ein kritisches Verständnis für neuartige Laserkonzepte – wie etwa photonische Kristalllaser, Nanolaser, Spinlaser, BIC-Laser und topologische Laser – und können deren Funktionsweise mit aktuellen Konzepten der Photonik wie der Hohlraum-Quantenelektrodynamik, der nicht-hermiteschen Physik und der Topologie in Zusammenhang bringen. Schließlich machen sich die Teilnehmenden mit fortgeschrittenen theoretischen und numerischen Methoden zur Beschreibung moderner Halbleiterlaser vertraut und sind in der Lage, die aktuelle Forschungsliteratur auf diesem sich rasch entwickelnden Gebiet zu beurteilen.

Upon successful completion of this course, participants will be able to explain the physical principles governing semiconductor laser operation, including optical gain, laser dynamics, modulation response, and origin of linewidth. They will be able to analyze and compare established semiconductor laser technologies and evaluate their performance limitations. Furthermore, participants will develop a critical understanding of emerging laser concepts, including photonic-crystal, nano-, spin-, BIC, and topological lasers, and will be able to relate their operation to contemporary concepts in photonics such as cavity quantum electrodynamics, non-Hermitian physics, and topology. Finally, participants will gain familiarity with advanced theoretical and computational approaches used to describe modern semiconductor lasers and will be able to assess current research literature in this rapidly evolving field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

	None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mariusz Drong
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt: • Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen – Signale und Rauschen – Modulation und Demodulation – Übertragungsverhalten von Funksystemen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier) • Mischer • Oszillatoren • Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Optoelectronics			
Optoelectronics			
Modulnummer / Module number: M.048.26011	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optoelectronics:
Keine

None

Prerequisites of course Optoelectronics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optoelectronics:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optoelectronics vermittelt alle grundlegenden Aspekte optoelektronischer Bauelemente, beginnend bei den Halbleitermaterialien und deren Wechselwirkung mit Licht bzw. Photonen, über die elektronischen Aspekte der Bauelemente bis hin zur Nutzung quantenmechanischer Effekte zur Optimierung moderner Bauelemente für die jeweiligen Anwendungsgebiete, wie z.B. in Beleuchtungssystemen, zur Bereitstellung erneuerbarer Energie, für breitbandige optische Kommunikationssysteme oder in der Medizintechnik. **Inhalt** Im ersten Teil der Vorlesung werden die Grundlagen von Halbleitern (Gitterstruktur, Bandstruktur, direkt-indirekte Halbleiter, Dotierung, entartete und nicht entartete Halbleiter, Heterostrukturen, Quanteneffekte in niederdimensionalen Halbleitern) rekapituliert. Anschließend werden die elementaren Wechselwirkungen zwischen Licht und Halbleitern (Absorption, stimulierte Emission, spontane Emission) und die elektronischen Aspekte der Bauelemente (p-n-Übergang, Heteroübergänge) behandelt. Anschließend werden die wichtigsten Bauelemente: Solarzellen, Photodioden, Leuchtdioden und Halbleiterlaser detailliert besprochen und ihre wichtigsten Parameter und Optimierungsstrategien diskutiert. *Contents of the course Optoelectronics:* **Short description** The lecture Optoelectronics covers the fundamental aspects of optoelectronic devices, starting with semiconductor materials and their interaction with light and photons, to the electronic aspects of the components, and finally to the use of quantum mechanical effects to optimise modern components for their respective areas of application, such as in lighting systems, renewable energy, broadband optical communication systems or in medical technology. **Contents** In the first part of the lecture, the basics of semiconductors (lattice structure, band structure, direct-indirect semiconductors, doping, degenerate and non-degenerate semiconductors, heterostructures, quantum effects in low-dimensional semiconductors) are recapitulated. The elementary interactions between light and semiconductors (absorption, stimulated emission, spontaneous emission) and the electronic aspects of the components (p-n junction, heterojunctions) are then covered. Finally, the most important devices such as solar cells, photodiodes, light-emitting diodes and semiconductor lasers are discussed in detail and their most important parameters and optimisation strategies are explained.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die grundlegenden physikalischen Eigenschaften von optoelektronischen Halbleiterbauelementen auf der Grundlage klassischer und grundlegender quantenmechanischer Beschreibungen zu erklären,
- die wichtigsten Konzepte von optoelektronischen Halbleiterbauelementen (Fotodioden, Solarzellen, Leuchtdioden, Halbleiterlaser) zu beschreiben,
- und verschiedene Bauelementdesigns entsprechend ihren Anwendungsanforderungen zu kategorisieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können methodisches Wissen für die systematische Problemanalyse in einer Vielzahl von Disziplinen nutzen,
- werden in der Lage sein, sich dank der umfassenden Grundausbildung selbstständig in neue Generationen von Halbleiterbauelementen einzuarbeiten,
- werden mit Ratengleichungsmodellen zur Simulation stationärer und dynamischer Eigenschaften in gekoppelten Systemen vertraut gemacht,
- und erwerben fachbezogene Fremdsprachenkompetenzen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- explain the basic physical properties of optoelectronic semiconductor devices based on classical and fundamental quantum mechanical descriptions,
- to describe the main concepts of optoelectronic semiconductor devices (photodiodes, solar cells, light emitting diodes, semiconductor lasers),
- categorize different device designs according to their application requirements.

Key qualifications:
The students

- can use of methodic knowledge for systematic problem analysis for a wide range of disciplines,
- will be in position to familiarise themselves independently with new generations of semiconductor devices, thanks to the comprehensive fundamental training received,
- get familiar to rate-equation models to simulate steady-state and dynamic characteristics in coupled systems,
- and gain foreign language competences related to the field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Nils Christopher Gerhardt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Lehrveranstaltungsseite** [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Modulseite** wird bei Vorlesungsstart bekannt gegeben **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsskript und Handouts zum Tutorial; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Course Homepage [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Module Homepage** to be announced at the start of the lecture **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture notes and handouts for the tutorial; literature references will be given in the first lecture

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Modulnummer / Module number: M.048.26013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-.3 Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:
Empfohlen:

- Wissen über elektromagnetische Felder und Wellen
- Erfahrung mit MATLAB-/Python-Skripting wäre von Vorteil

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* **Recommended:** Knowledge on electromagnetic fields and waves Experience with MATLAB/Python scripting would be beneficial
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* • Einführung – Historische Entwicklung der integrierten Photonik und ihre heutige Bedeutung – Kurzer Überblick über die erforderlichen theoretischen Grundlagen * Elektromagnetische Wellen und Maxwell-Gleichungen * Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in verschiedenen Medien • Theorie optischer Wellenleiter: Bauelement Nr. 0 – Analyse eindimensionaler (1D) Wellenleiter * Strahlenoptisches Modell * Vektorwellengleichung und Randbedingungen – Analyse zweidimensionaler (2D) Wellenleiter * Überblick über Wellenleiterplattformen und die Methode des effektiven Brechungsindex * Überblick über die vollvektorielle Methode * Dispersion, Polarisation und Orthogonalität geführter Moden • Theorie gekoppelter Moden: analytische Formulierung • Passive integriert-photonische Bauelemente – Richtkoppler (DC): Bauelement Nr. 1 – Multimoden-Interferometer (MMI): Bauelement Nr. 2 – Verteilter Bragg-Reflektor (DBR): Bauelement Nr. 3 • Abstimmbare/aktive integriert-photonische Bauelemente – Mach-Zehnder-Interferometer (MZI) / -Modulator (MZM): Bauelement Nr. 4 – Mikroringresonatoren (MRR) / -Modulator (MRM): Bauelement Nr. 5 – Überblick über Phasenschieber: thermisch, elektro-optisch und MEMS-basiert • Fertigungsvariabilität und Toleranzen integriert-photonischer Bauelemente • Überblick über die Analyse photonischer integrierter Schaltkreise (PICs), Einführung in die Kompaktmodellierung und die elektronisch-photonische Entwurfsautomatisierung (EPDA)

Contents of the course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:

- Introduction
  - Historical evolution of integrated photonics and relevance in today's world
  - Brief overview on the required background theory
    - Electromagnetic waves and Maxwell's equations
    - EM waves propagation in different media
- Theory of optical waveguides: Device #0
  - 1-D waveguide analysis
    - Ray optics model
    - Vector wave equation and boundary conditions
  - 2-D waveguide analysis
    - Overview of waveguide platforms and effective index method
    - Overview of the full vectorial method
    - Dispersion, polarization and orthogonality of guided modes
- Coupled-mode theory: analytical formulation
- Passive integrated photonic devices
  - Directional coupler (DC): Device #1
  - Multi-mode interferometers (MMI) : Device #2
  - Distributed Bragg reflector (DBR): Device #3
- Tunable/active integrated photonic devices
  - Mach-Zehnder interferometer (MZI) / modulator (MZM): Device #4
  - Microring resonators (MRR) / modulator (MRM): Device #5
  - Overview of phase shifters: thermal, electro-optic and MEMS-based
- Fabrication variability and tolerances of the integrated photonic devices
- Overview of photonic integrated circuit (PIC) analysis, introduction to compact-modeling and electronic-photonic design automation (EPDA)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis der Funktionsweise und der theoretischen Grundlagen integrierter photonischer Bauelemente, der bei deren Design bestehenden Einschränkungen sowie der Strategien zu deren Überwindung.

Understanding the working and fundamental theory of integrated photonic devices, constraints involved in the device designs and overcoming strategies.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Ashitosh Velamuri
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Theory and Design of Phase-locked Loops			
Theory and Design of Phase-locked Loops			
Modulnummer / Module number: M.048.24020	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:
Empfohlen:

- Fortgeschrittene Signaltheorie
- Statistische Signalverarbeitung (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Bachelor-Lehrplan)
- Schaltungs- und Systementwurf (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Lehrplan im Bachelorstudium

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Phase-locked Loops:* **Recommended:** • Advanced Signal Theory • Statistical Signal Processing (or another course with comparable syllabus in their bachelor) • Circuit and system design (or another course with comparable syllabus in their bachelor)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:* Kapitel 1: Motivation • Definition von Zeit und Frequenz – Definition in SI-Einheiten – statischer Frequenzfehler • Zufallsschwankungen – Amplituden-/Phasenrauschen (AM/PM) Kapitel 2: Mathematischer Formalismus von Signalen • Basisband- und Bandpass-Signale • Zeit- und Frequenzbereich Kapitel 3: Einführung in Zufallsprozesse • Basisband-Zufallsprozesse und Rauschen – Korrelationsfunktionen im Zeit- und Frequenzbereich – einige Basisband-Zufallsprozesse (thermisches Rauschen, Schrotrauschen, Flickerrauschen . . .) • Bandpass-Zufallsprozesse – Korrelationsfunktionen – Beziehung zu Basisbandprozessen – Phasenrauschen und Amplitudenrauschen Kapitel 4: PLL-Bausteine • Phasendetektor – Phasendetektor-Modell – Phasenrauschen des Phasendetektors • VCO – VCO-Modell – Phasenrauschen des VCO • Frequenzumsetzer – Frequenzteiler – Frequenzmultiplikator – Phasenrauschen von Frequenzumsetzern • Entwurf von PLL-Blöcken auf Transistorebene Kapitel 5: Integer N PLLs: – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen Kapitel 6: Fractional PLLs – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen

Contents of the course Theory and Design of Phase-locked Loops:
Chapter 1: Motivation

- Time and frequency definition – definition in SI units – static frequency error
- random fluctuations – Amplitude/Phase (AM/PM) noise

Chapter 2: Mathematical formalism of signals

- baseband and bandpass signals
- time and frequency domain

Chapter 3: introduction to random processes

- baseband random processes and noise – correlation functions in time and frequency domain – some basedband random processes (thermal noise, shot noise, flicker noise . . .)
- bandpass random processes – correlation functions – relation to baseband processes – phase noise and amplitude noise

Chapter 4: PLL building blocks

- Phase detector – Phase detector model – phase noise of phase detector
- VCO – VCO model – phase noise of VCO
- Frequency translators – frequency divider – frequency multiplier – phase noise of frequency translators
- transistor level design of PLL blocks

Chapter 5: Integer N PLLs: – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies
Chapter 6: Fractional PLLs – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis des statischen/dynamischen Fehlers in Frequenznormalen. Mathematische Modellierung von Amplituden-/Phasenrauschen. Modellierung von Zufallsprozessen im Zeit- und Frequenzbereich. Grundlegende und moderne PLL-Architektur und ihre Bausteine. Systematischer Entwurf von PLLs. Entwurf und Modellierung von Integer/Fractional N PLL.

Understanding of static/dynamic error in frequency standards. Mathematical modeling of amplitude/phase noise. Modeling random processes in time and frequency domain. Basic and modern PLL architecture and its building blocks. Systematic design of PLLs. Design and Modeling of Integer/Fractional N PLL.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Meysam Bahmanian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Module Homepage `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

VLSI-Testing			
VLSI-Testing			
Modulnummer / Module number: M.048.92027	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung VLSI Testing:
Empfohlen: Digitaltechnik

None

Prerequisites of course VLSI Testing:
Recommended: Digital Design

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "VLSI Testing" behandelt systematische Verfahren zur Erkennung von Hardware-Defekten in mikroelektronischen Schaltungen. Es werden sowohl Algorithmen zur Erzeugung und Auswertung von Testdaten als auch Hardwarestrukturen zur Verbesserung der Testbarkeit und für den eingebauten Selbsttest vorgestellt. **Inhalt** Im einzelnen werden die folgenden Themen behandelt: • Fehlermodelle • Testbarkeitsmaße und Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit • Logik- und Fehlersimulation • Algorithmen zur Testmustererzeugung • Selbsttest, insbesondere Testdatenkompression und Testantwortkompaktierung • Speichertest *Contents of the course VLSI Testing:* **Short Description** The course "VLSI Testing" focuses on techniques for detecting hardware defects in microelectronic circuits. Algorithms for test data generation and test response evaluation as well as hardware structures for design for test (DFT) and on-chip test implementation (BIST) are presented. **Contents** In detail the following topics are covered: • Fault models • Testability measures and design for test (DFT) • Logic and fault simulation • Automatic test pattern generation (ATPG) • Built-in self-test (BIST), in particular test data compression and test response compaction • Memory test
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Fehlermodelle, Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit und Werkzeuge zur Unterstützung des Tests zu beschreiben, • die grundlegenden Modelle und Algorithmen für Fehlersimulation und Test zu erklären und anzuwenden, sowie • Systeme im Hinblick auf ihre Testbarkeit zu analysieren und geeignete Teststrategien auszuwählen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden können • die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen, • ihre Lösungen den anderen Teilnehmern präsentieren und • die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to describe fault models, DFT techniques, and test tools,
- to explain and apply the underlying models and algorithms for fault simulation and test generation,
- to analyze systems with respect to their testability and to derive appropriate test strategies.

Key qualifications:
The students

- are able to apply the practiced strategies for problem solving across varying disciplines,
- have experience in presenting their solutions to their fellow students, and
- know how to improve their competences by private study.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sybille Hellebrand
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/date/lehre/uebersicht` **Methodische Umsetzung** * Vorlesung mit Beamer und Tafel * Präsenzübungen in kleinen Gruppen mit Übungsblättern zu den theoretischen Grundlagen, Präsentation der Lösungen durch Übungsteilnehmer * Praktische Übungen mit verschiedenen Software-Werkzeugen am Rechner **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle Hinweise auf ergänzende Literatur und Lehrmaterialien im jeweiligen panda-Kurs • Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000 • Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

Remarks of course VLSI Testing:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/electrical-engineering/date/teaching/electrical-engineering/overview`
Implementation

- Lecture based on slide presentation, extensions on blackboard
- Exercises in small groups based on exercise sheets with students presenting their own solutions
- Hands-on exercises using various software tools

Teaching Material, Literature
Additional material can be found in panda

- Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000
- Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

2.6 Vertiefungsgebiet “Signal Processing”

Vertiefungsgebiet / Specialisation Area	Signal Processing / Signal Processing
Module / Modules	* Advanced System Theory * Digital Image Processing I * Digital Image Processing II * Digitale Sprachsignalverarbeitung * Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation * Machine Learning I * Machine Learning for Biometrics * Optimale und Adaptive Filter * Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation * Statistical and Machine Learning * Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel * Topics in Signal Processing
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6
Prüfungsform / Type of examination	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat / Written or Oral Examination or Presentation
Dauer bzw. Umfang / Duration or Scope	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min / 120-180 min or 30-45 min or 30 min
Lernziele / Learning objectives	

Die Module aus diesem Vertiefungsgebiet ermöglichen eine Spezialisierung im Bereich Signal-, Bild- und Sprachverarbeitung.

Advanced System Theory			
Advanced System Theory			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.92001	180	6	Sommer- / Wintersemester

Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
de / en	1. Semester	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2V 2Ü, WS/SS	60	120	P	60/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2L 2Ex, WS/SS	60	120	C	60/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:
Empfohlen:
Voraussetzung ist ein Grundverständnis von Differentialgleichungen, linearer Algebra und Laplace-Transformationen, wie sie in einem typischen Grundstudium der Systemtheorie behandelt werden.

None

Prerequisites of course Advanced System Theory:
Recommended:
Prerequisites are a basic understanding of differential equations, linear algebra, and Laplace transforms, as they are covered in a typical undergraduate course on system theory.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Kurzbeschreibung** Aufbauend auf einem Grundkurs in Systemtheorie behandelt dieser Kurs das dynamische Verhalten linearer Systeme mit größerer mathematischer Sorgfalt. Der Kurs ist in erster Linie für Studierende der Ingenieurwissenschaften gedacht, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften nützlich sein. **Inhalte** Systemmodelle und Differentialgleichungen • Zustandsraum- und E/A-Beschreibungen • Beziehungen zwischen internen und externen Beschreibungen • Reaktion von Systemen mit kontinuierlicher und diskreter Zeit • Stabilität, Kontrollierbarkeit, Beobachtbarkeit • Zustandsraumrealisierungen von externen Beschreibungen *Contents of the course Advanced System Theory:* **Short Description** Building on an undergraduate system theory course, this course studies the dynamical behavior of linear systems with greater mathematical rigor. The course is primarily intended to serve students in engineering, but it can also be useful to students in physics and other natural sciences. **Contents** • System models and differential equations • State-space and I/O descriptions • Relations between internal and external descriptions • Response of continuous- and discrete-time systems • Stability, controllability, observability • State-space realizations of external descriptions
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch dieser Veranstaltung sind die Studenten mit den wichtigsten Konzepten und Ergebnissen der linearen Systemtheorie vertraut. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Dieser Kurs soll ihnen Intuition und Gespür für das dynamische Verhalten linearer Systeme vermitteln, auf das sie später zurückgreifen können. Dieser Kurs behandelt Material in ausreichender Breite, so dass Studenten ein klares Bild vom dynamischen Verhalten linearer Systeme, einschließlich ihrer Leistungsfähigkeit und Grenzen, bekommen. Dadurch können Studenten die Theorie in anderen Gebieten anwenden. After attending this course, students will be familiar with the most important concepts and results in linear system theory. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. Many of their timeless insights and intuitions about the dynamical behavior of systems will be drawn from this course. This course presents material broad enough so that students will have a clear understanding of the dynamical behavior of linear systems, including their power and limitations. This will allow students to apply the theory to other fields.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Erdal Kayacan

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) Panda-Kurs für Kommunikation und Organisation **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungs-/Tutoriumsfragen; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben *Remarks of course Advanced System Theory:* **Course Homepage** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) Panda course for communication and material distribution **Teaching Material, Literature** Handouts and exercise / tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Digital Image Processing I			
Digital Image Processing I			
Modulnummer / Module number: M.048.92008	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92008 Digital Image Processing I	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92008 Digital Image Processing I	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:
Keine. Grundlegende Programmierkenntnisse sind von Vorteil.

None

Prerequisites of course Digital Image Processing I:
None. Basic programming knowledge is an advantage.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt eine grundlegende Einführung in die digitale Bildverarbeitung. Nach erfolgreichem Abschluss des Kurses sind die Studierenden in der Lage, die grundlegenden Konzepte der Bildgenerierung und -repräsentation fundiert zu beschreiben. Darüber hinaus beherrschen sie die Anwendung von Methoden zur Verbesserung und Segmentierung von Grauwert- und Farbbildern im Orts- und Frequenzbereich sowie zur Bildkompression. Die Studierenden sind in der Lage, diese Techniken eigenständig auszuwählen, zu implementieren, zu testen und auf komplexe Bildverarbeitungsaufgaben anzuwenden. Ein typisches Anwendungsfeld ist Automatisierungstechnik. **Inhalt** 1. Introduction (Graphics File Formats, Application Examples, Human Vision) 2.Image Formation and Image Models (Camera Models, Image Formation, Image Sampling and Quantization) 2. Image Enhancement in the Spatial Domain (Gray-Level Transformation Functions, Histogram Processing, Spatial Filtering) 3. Image Enhancement in the Frequency Domain (2D Fourier Transform, Smoothing and Sharpening Filters, Implementation Details) 4. Color Image Processing (Color Spaces, Color and Pseudo-Color Image Processing, Spatial Filtering) 5. Image Compression and Reduction (Types of Redundancy, Compression Models, Lossless and Lossy Compression) *Contents of the course Digital Image Processing I:* **Short Description** This course provides a fundamental introduction to digital image processing. Upon successful completion, students will be able to thoroughly describe the basic concepts of image generation and representation. Additionally, they will acquire the skills to apply methods for enhancing and segmenting grayscale and color images in both the spatial and frequency domains, as well as techniques for image compression. Students will be capable of independently selecting, implementing, testing, and applying these techniques to complex image processing tasks. A typical application area is automation technology. **Contents** 1. Introduction (Graphics File Formats, Application Examples, Human Vision) 2.Image Formation and Image Models (Camera Models, Image Formation, Image Sampling and Quantization) 2. Image Enhancement in the Spatial Domain (Gray-Level Transformation Functions, Histogram Processing, Spatial Filtering) 3. Image Enhancement in the Frequency Domain (2D Fourier Transform, Smoothing and Sharpening Filters, Implementation Details) 4. Color Image Processing (Color Spaces, Color and Pseudo-Color Image Processing, Spatial Filtering) 5. Image Compression and Reduction (Types of Redundancy, Compression Models, Lossless and Lossy Compression)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz
Die Studierenden

- sind in der Lage. die Grundlagen der Bildgenerierung und der Bilddigitalisierung zu beschreiben und
- können Methoden zur Bildverbesserung im Orts- und Frequenzraum, zur Bildsegmentation und zur Bilddatenreduktion selbstständig für komplexe Bildbearbeitungsaufgaben auswählen, implementieren, testen und anwenden.

Fachübergreifende Kompetenzen
Die Studierenden beherrschen die Grundlagen der Programmierung in Python.

Domain competence
The students

- are able to describe the basics of image generation and image digitization and
- are able to select, implement, test and apply methods for the enhancement of images in the spatial and frequency domain, image segmentation and data reduction independently for complex image processing tasks.

Key qualifications
The students have a good command of programming in Python.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Markus Hennig
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:* **Zielgruppe** Masterstudierende der Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/get/teaching/dip-i` **Literatur** • Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). Digital Image Processing (4th Global Ed.). Pearson. Print ISBN: 978-1-292-22304-9, E-ISBN: 978-1-292-22307-0. • Mertsching, B. (2024). Digital Image Processing I (Lecture Notes). • Jähne, B. (2024). Digitale Bildverarbeitung (8th Edition, German Language). Springer. Print ISBN: 978-3-662-59509-1, E-ISBN: 978-3-662-59510-7. **Kommentar** Die in der Vorlesung vermittelten Inhalte werden in den Übungen mithilfe von Python praktisch umgesetzt. In der ersten Übung wird dazu eine Einführung gegeben, sodass auch ein Einstieg mit geringen Programmierkenntnissen möglich ist. Eine regelmäßige und aktive Teilnahme an Vorlesungen und Übungen wird erwartet.

Remarks of course Digital Image Processing I:

Target group

Master's students in electrical engineering and related fields.

Course Homepage

`https://ei.uni-paderborn.de/get/teaching/dip-i`

Literature

- Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). Digital Image Processing (4th Global Ed.). Pearson. Print ISBN: 978-1-292-22304-9, E-ISBN: 978-1-292-22307-0.
- Mertsching, B. (2024). Digital Image Processing I (Lecture Notes).
- Jähne, B. (2024). Digitale Bildverarbeitung (8th Edition, German Language). Springer. Print ISBN: 978-3-662-59509-1, E-ISBN: 978-3-662-59510-7.

Comment

The material presented in the lecture is implemented in the exercises using Python. The first exercise provides an introduction to this, so that it is possible to get started with limited programming knowledge. Regular and active participation in lectures and exercises is expected.

Digital Image Processing II			
Digital Image Processing II			
Modulnummer / Module number: M.048.92010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92010 Digital Image Processing II	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92010 Digital Image Processing II	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:
Empfohlen:
Grundkenntnisse der Bildverarbeitung, (zum Beispiel aus der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I (L.048.23002 / L.048.92008)

None

Prerequisites of course Digital Image Processing II:
Recommended:
Basic knowledge of image processing, (e. g. from the course Digital Image Processing I (L.048.23002 / L.048.92008)

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung " Digital Image Processing II " ist ein Modul im Katalog " Cognitive Systems " für Studierende des Masterstudiengangs Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. Es schließt an die Grundlagenveranstaltung " Digital Image Processing I " an und behandelt fortgeschrittene Methoden der Bildverarbeitung. **Inhalte** Die folgenden Themen werden im Laufe des Semesters behandelt: • Bildsegmentierung (Linien- und Kantenerkennung, Segmentierung nach Regionen, Superpixel) • Merkmalsextraktion (Merkmalsdeskriptoren, Hauptkomponenten, Skalen-Invariante-Merkmal-Transformation (SIFT)) • Stereobildanalyse (Tiefenwahrnehmung, Stereogeometrie, Korrespondenzproblem) • Bewegung (Bewegungserkennung, optischer Fluss, Bewegungsmodelle, Bewegungssegmentierung) • Objekterkennung und Bildmusterklassifikation (Muster, Klassifikatoren, neuronale Netze und Deep Learning, Convolutional Neural Networks (CNN)) Nachdem die Studierenden die Methoden in der Vorlesung kennengelernt haben, werden sie diese in Jupyter-Notebooks implementieren. *Contents of the course Digital Image Processing II:* **Short Description** The course "Digital Image Processing II" is a module in the catalog "Cognitive Systems" for advanced students of the Electrical Engineering Master's program and related degree programs. It follows the fundamental course "Digital Image Processing I" and covers methods for high-level image processing. **Contents** The following topics will be discussed during the semester: • Image segmentation (line and edge detection, segmentation by region, superpixels) • Feature extraction (feature descriptors, principal components, Scale-Invariant-Feature-Transform (SIFT)) • Stereo image analysis (depth perception, stereo geometry, correspondence problem) • Motion (motion detection, optical flow, motion models, motion segmentation) • Object recognition and image pattern classification (patterns, classifiers, neural networks and deep learning, convolutional neural networks (CNN)) After learning about the methods in the lecture, the students will implement them in Jupyter Notebooks.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden

- können die grundlegenden Methoden zur Bildsegmentation anwenden,
- beherrschen Methoden zur Beschreibung von Bildmerkmalen und zur Objekterkennung,
- können Kenntnisse aus der Bildverarbeitung auf die Behandlung anderer mehrdimensionaler Signale übertragen und
- können den aktuellen Stand des Wissens in den vorgestellten Gebieten beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden können die Funktion und das Verhalten komplexer technischer Prozesse und ihre Einbindung in das gesellschaftliche Umfeld unter ethischen Gesichtspunkten erkennen und bewerten.

Domain competence:
The students

- can apply methods for image segmentation, representation and description of features, stereo and motion image analyis, objection recognition and machine learning,
- are able to transfer the acquired knowledge of image processing to the processing of other multi-dimensional signals,
- are able to describe the state-of-the-art of the presented topics, and
- are able to implement the presented methods.

Key qualifications:
The students are able to identify and evaluate the function and the behavior of complex technical processes and their integration into the social environment while also considering ethical aspects.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Markus Hennig
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/dip-II] **Lehrmaterialien** siehe PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de]) **Literaturangaben (Auszug)** • Mertsching, Bärbel: Digital Image Processing (lecture notes) • Forsyth, David and Ponce, Jean: Computer Vision - A Modern Approach. Prentice-Hall, 2nd ed., 2011. ASIN: B006V372KG • Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E.: Digital Image Processing. Pearson Education Limited, 4th ed., 2018. ISBN-13: 978-1-292-22304-9 • Jähne, Bernd: Digitale Bildverarbeitung. Springer, 7. Aufl., 2012. ISBN-13: 978-3642049514

Remarks of course Digital Image Processing II:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
[http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/dip-II]
Course Documents
see PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de])
References (excerpt)

- Mertsching, Bärbel: Digital Image Processing (lecture notes)
- Forsyth, David and Ponce, Jean: Computer Vision - A Modern Approach. Prentice-Hall, 2nd ed., 2011. ASIN: B006V372KG
- Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E.: Digital Image Processing. Pearson Education Limited, 4th ed., 2018. ISBN-13: 978-1-292-22304-9
- Jähne, Bernd: Digitale Bildverarbeitung. Springer, 7. Aufl., 2012. ISBN-13: 978-3642049514

Digitale Sprachsignalverarbeitung			
Digital Speech Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.24001	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.24001 Digitale Sprachsignalverarbeitung	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24001 Digital Speech Signal Processing	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus dem Modul Höhere Mathematik.

None

Prerequisites of course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Recommended: Prior knowledge from the module Higher Mathematics.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur digitalen Sprachsignalverarbeitung ein. Schwerpunkt des ersten Teils der Vorlesung liegt im Themengebiet „Hören und Sprechen“, welches sich mit psychologischen Effekten der Geräuschwahrnehmung und der Spracherzeugung beschäftigt. Anschließend werden zeitdiskrete Signale und Systeme, sowie deren rechnergestützte Verarbeitung besprochen. Die nichtparametrische Kurzeitanalyse von Sprachsignalen, die Sprachcodierung und die IP-Telefonie sind weitere Themen.
Inhalt

- Sprechen und Hören
  - Spracherzeugung: menschliche Sprechorgane, Lautklassen, Quelle-Filter-Modell, Vocoder
  - Grundlagen Schallwellen
  - Hören: menschliches Hörorgan, Psychoakustik und Physiologie des Hörens, Lautheit, Verdeckung, Frequenzgruppen
- Zeitdiskrete Signale und Systeme
  - Grundlagen: Elementare Signale, LTI-Systeme
  - Transformationen: Fouriertransformation zeitdiskreter Signale, DFT, FFT
  - Realisierung zeitdiskreter Filterung im Frequenzbereich: Overlap-Add, Overlap-Save
- Statistische Sprachsignalanalyse
  - Grundlagen Wahrscheinlichkeitsrechnung
  - Kurzzeitanalyse von Sprachsignalen: Spektrogramm, Cepstrum
- Schätzung von Sprachsignalen
  - Optimale Filterung
  - LPC-Analyse
  - Spektrale Filterung zur Rauschunterdrückung
  - Adaptive Filterung: LMS Adaptionsalgorithmus, Echokompensation
- Sprachcodierung
  - Signalformcodierung, parametrische Codierung, hybride Codierverfahren
  - Codierung im Frequenzbereich
  - Amplitudenquantisierung: gleichförmige Quantisierung, Quantisierung mit Kompandierung (ulaw, alaw)

Contents of the course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Short Description
The course introduces the basic techniques and theories of digital speech signal processing. A focal point of the first part of the lecture is the topic “Listening and Speaking”, which is concerned with psychological effects of human sound perception and speech production. Subsequently, time discrete signals and systems, as well as computer based data processing are discussed. Further topics are non-parametric short-time analysis of speech signals, speech coding and IP-phones.
Contents

- Listen and talk
  - Generating voice: human vocal tract, source filter model, vocoder
  - Acoustic waves
  - Listen: human ear, psycho acoustics and physiology of listening, loudness, acoustic occlusion, frequency groups
- Time-discrete signals and systems
  - Basics: Elementary signals, LTI systems
  - Transformations: Fourier transformation of time-discrete signals, DFT, FFT
  - Time-discrete filtering in frequency domain: Overlap-Add, overlap-Save
- Statistical speech signal analysis
  - Basics in theory of probabilities
  - Short-run analysis of speech signals: Spectrogram, cepstrum
- Estimation of speech signals
  - Optimal filters
  - LPC analysis
  - Spectral filtering for noise suppression: spectral subtraction, Wiener filter
  - Adaptive Filters: LMS adaptation algorithm, echo compensation
- Speech coding
  - Time domain coding: signal shape coding, parametric coding, hybride coding techniques
  - Frequency domain coding
  - Amplitude quantization: uniform quantization, quantization with companders (ulaw, alaw)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Digitale Signale, speziell Audiosignale, im Zeit- und Frequenzbereich zu analysieren,
- Sprachsignale effizient zu repräsentieren und
- Weit verbreitete Algorithmen zur Sprachsignalanalyse und Verarbeitung im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können Effekte in echten Signalen durch theoretisches Wissen erklären,
- können theoretische Ansätze durch systematische Betrachtung untersuchen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze digital signals, e.g., audio signals, in the time or frequency domain,
- represent audio signals efficiently and
- implement widely-used algorithms for speech analysis and speech processing in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to explain effects in real signals based on the theoretical knowledge,
- are able to investigate theoretical approaches by a systematic analysis and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/digitale-sprachsignalverarbeitung` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von echten Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

Remarks of course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/digital-speech-signal-processing`
Implementation

- Lectures using the blackboard and presentations,
- Alternating theoretical and practical exercise classes with exercise sheets and computer and
- Demonstration of real technical systems in the lecture hall.

Teaching Material, Literature
Allocation of a script; information on textbooks ; matlab scripts

Machine Learning 1			
Machine Learning 1			
Modulnummer / Module number: M.079.4032	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

none

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie den gesamten Prozess des maschinellen Lernens. • können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens für Klassifizierung und Regression implementieren und in der Praxis anwenden. Gegebenenfalls können sie auch notwendige Anpassungen vornehmen. • verstehen praktische Tools für die Modellvalidierung und für das automatisierte maschinelle Lernen und können diese anwenden. • bewerten die Vor- und Nachteile des Einsatzes verschiedener Techniken des maschinelles Lernen in verschiedenen Situationen.

The students

- understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, and the complete machine learning pipeline.
- implement basic methods of supervised learning for classification and regression, apply them to real-world examples, and make necessary adaptations.
- understand and use practical tools for model validation and automated machine learning pipelines.
- assess the advantages and disadvantages of using various machine learning techniques in various situations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Machine Learning for Biometrics			
Machine Learning for Biometrics			
Modulnummer / Module number: M.079.4088	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:* Unter biometrischer Verifikation versteht man die automatische Erkennung von Personen auf der Grundlage ihrer Verhaltensweisen oder biologischen Merkmalen. Die Veranstaltung wird einen Überblick über moderne biometrische Systeme geben und speziell auf deren Funktionsweise und Herausforderungen eingehen. Dafür werden verschiedenste Ansätze maschinellen Lernens eingeführt, die darauf abzielen eine zuverlässige biometrische Erkennung (z.B. mittels Gesichtserkennung) zu ermöglichen. Zugleich stellen biometrische Anwendungen ganz eigene Anforderungen an die zugrundeliegenden Algorithmen. Die Veranstaltung wird speziell auf diese Anforderungen eingehen und wie man diese algorithmisch und im Lernprozess begegnen kann. Dies beinhaltet die Themen Privatsphäre, Fairness, Erklärbarkeit, Unsicherheiten, Effizienz, Angriffe und deren automatisierte Erkennung. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Biometrische Systeme, Funktionsweisen und Evaluierung • Zusammenfassung über traditionelles und tiefes Lernen • Gesichts-, Iris- und Fingerabdruckerkennung • Soft-Biometrie und Privatsphäre • Fairness und Bias in biometrischen Systemen • Erklärbarkeit und Zuverlässigkeit biometrischer Systeme • Qualität biometrischer Daten • Effiziente biometrische Systeme • Präsentationsangriffe und Erkennung • Multibiometrische Fusion • Biometrische Indizierung *Contents of the course Machine Learning for Biometrics:* Biometric verification is defined as the automated recognition of individuals based on their behavioral or biological characteristics. The course will give an overview of modern biometric systems and specifically address their functionality and challenges. For this purpose, various approaches of machine learning will be introduced, which aim at enabling reliable biometric recognition (e.g. by means of face recognition). At the same time, biometric applications place very specific requirements on the underlying algorithms. The course will specifically address these requirements and how they can be met algorithmically and in the algorithmic learning process. This includes the topics of privacy, fairness, explainability, uncertainties, efficiency, attacks and their automated detection. The course includes the following content: • Biometric systems, operation modes, and evaluation • Recap on traditional and deep learning • Face, Iris, and fingerprint recognition • Soft-biometrics and privacy • Fairness and bias in biometric systems • Explainability and confidence in biometric systems • Biometric sample quality • Efficient biometric systems • Presentation attacks and detection • Multi-biometric fusion • Biometric indexing

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- eigenständig biometrische Systeme evaluieren,
- Modelle zur biometrischen Erkennung für verschiedene Modalitäten trainieren,
- Biometrische Angriffe automatisiert erkennen und Systeme robust gegen solche Angriffe machen,
- verschiedenste Herausforderungen biometrischer Systeme erklären und Lösungsstrategien nennen, um diesen zu begegnen,
- offene Forschungsfragen in der Biometrie nennen und erklären.

Students will be able to

- independently evaluate biometric systems,
- train biometric recognition models for different modalities,
- automatically detect biometric attacks and make systems robust against such attacks,
- explain various challenges of biometric systems and name solution strategies to counter them,
- name and explain open research questions in biometrics.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Philipp Terhörst
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:* **Methodische Umsetzung** Zunächst wird den Studierenden ein Überblick über Biometrie und deren Anwendungen und grundsätzliche Funktionsweisen gegeben. Danach werden benötigte Konzepte des maschinellen Lernens kompakt eingeführt und bei der Behandlung spezieller biometrischer Anforderungen im Kontext angewandt und ausgebaut. Parallel zur Vorlesung werden in den Übungen die theoretischen Konzepte praktisch anhand Gesichtsdaten geübt. Dies geschieht in Form von kurzen handschriftlichen und Implementierungsaufgaben. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Machine Learning for Biometrics:* **Implementation Method** First, students are given an overview of biometrics and its applications and basic functionalities. Then, required concepts of machine learning are introduced in a compact way. These will be applied and developed in context when dealing with specific biometric requirements. Parallel to the lecture, the theoretical concepts are practiced in the exercises using facial data. This is done in the form of short hand-written and implementation tasks. **Learning Material, Literature** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Further literature will be announced in the lecture.

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt: • Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen – Signale und Rauschen – Modulation und Demodulation – Übertragungsverhalten von Funksystemen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier) • Mischer • Oszillatoren • Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Optimale und Adaptive Filter			
Optimal and Adaptive Filters			
Modulnummer / Module number: M.048.24010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24010 Optimale und Adaptive Filter	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24010 Optimal and Adaptive Filters	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus den Modulen Höhere Mathematik und Digitale Signalverarbeitung.

None

Prerequisites of course Optimale und Adaptive Filter:
Recommended: Prior knowledge from the modules Higher Mathematics and Digital Signal Processing.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung „Optimale und adaptive Filter“ führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur adaptiven Filterung ein. Aufbauend auf den Grundlagen der Schätztheorie werden zunächst optimale Filter diskutiert. Anschließend werden die Wiener Filter Theorie, die deterministische Optimierung unter Randbedingungen und die stochastischen Gradientenverfahren betrachtet. Abschließend werden der Least Squares Ansatz zur Lösung von Filteraufgaben und der Kalman Filter vorgestellt. Letzterer ist als Einführung in das Themengebiet der zustandsbasierten Filterung anzusehen.
Inhalt

- Klassische Parameterschätzung
  - Schätzung und Schätzer
  - MMSE-Schätzung
  - Lineare Schätzer
  - Orthogonalitätsprinzip
  - Bewertung der Güte von Schätzern
- Wiener Filterung
  - Wiener-Hopf Gleichung
  - AR- und MA-Prozesse
  - Lineare Prädiktion
- Iterative Optimierunsverfahren
  - Gradientenan/abstieg
  - Newton-Verfahren
- Lineare adaptive Filterung
  - LMS-Algorithmus
  - Least-Squares Methode
  - Blockweise und rekursive adaptive Filter
  - Realisierungsaspekte
- Zustandsmodellbasierte Filter
  - Kalman Filter
- Anwendungen
  - Systemidentifikation
  - Kanalschätzung und -entzerrung
  - Mehrkanalige Sprachsignalverarbeitung
  - Geräusch- und Interferenzunterdrückung

Contents of the course Optimale und Adaptive Filter:
Short Description
The course “Optimal and adaptive filters” gives an introduction to the basic techniques and theories of adaptive filters. Based upon the basics of estimation theory optimal filters are discussed. Subsequently the topics Wiener filter theory, deterministic optimization under constraints and stochastic gradient methods are regarded. Concluding the Least Squares approach for solving filter tasks and the Kalman filter are introduced. The latter is regarded as a brief introduction to state based filters.
Contents

- Classic parameter estimation
  - Estimators
  - MMSE-Estimation
  - Linear estimators
  - Orthogonality principle
  - Evaluation of estimators
- Wiener filter
  - Wiener-Hopf equation
  - AR- and MA processes
  - Linear prediction
- Iterative optimization methods
  - Gradient ascent/descent
  - Newton method
- Linear adaptive filters
  - LMS algorithm
  - Least-Squares method
  - Blockwise and recursive adaptiv filters
  - Realization aspects
- Statemodel based filters
  - Kalman filter
- Applications
  - System identification
  - Channel estimation and equalization
  - Multi-channel speech signal processing
  - Noise and interference suppression

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Problemstellungen im Bereich der adaptiven Filterung zu analysieren und Anforderungen mathematisch zu formulieren
- Filter anhand von Kostenfunktionen zu entwickeln und
- ausgewählte adaptive Filter im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können theoretische Ergebnisse in praktische Realisierungen überprüfen,
- können theoretische Ansätze mittels methodenorientiertem Vorgehen einer systematischen Analyse unterziehen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze task on the field of adaptive filters and to formulate requirements mathematically,
- develop filter using cost functions and
- implement selected adaptive filters in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to check theoretical results using practical realizations,
- are able to undertake theoretical approaches a systematic analysis using methodical procedures and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/optimale-und-adaptive-filter` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

Remarks of course Optimale und Adaptive Filter:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/optimal-and-adaptive-filter`
Implementation

- Lectures using the blackboard and presentations,
- Alternating theoretical and practical exercises classes with exercise sheets and computer and
- Demonstration of real technical systems in the lecture hall.

Teaching Material, Literature
Allocation of a script; information on textbooks; matlab scripts

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

Statistical and Machine Learning			
Statistical and Machine Learning			
Modulnummer / Module number: M.048.23012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.23012 Statistical and Machine Learning	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23012 Statistical and Machine Learning	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale. Wünschenswert sind auch Programmierkenntnisse.

None

Prerequisites of course Statistical and Machine Learning:
Recommended: Elementary knowledge in probability theory, as is taught in the course Statistical Signal Processing. Basic programming skills are desirable.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung “Statistical and Machine Learning” vermittelt einen Einblick in die Komponenten und Algorithmen von statistischen und maschinellen Lernverfahren. Es werden verschiedenste Ansätze vorgestellt, wie Charakteristika aus Daten entweder überwacht oder unüberwacht gelernt werden können und wie unbekannte Muster erkannt werden. Die vorgestellten Techniken können auf vielfältige Klassifikations- und Regressionsprobleme angewendet werden, sei es für eindimensionale Signale (z.B. Sprache), zweidimensionale (z.B. Bilder) oder symbolische Daten (z.B. Texte, Dokumente). **Inhalt** *Einführung in Klassifikationsverfahren, Bayes'sche und andere Entscheidungsregeln,* Optimierungsverfahren: Gradientenabstieg, algorithmisches Differenzieren, Optimierung mit Randbedingung *Lineare Klassifikatoren: Perzeptron, Support Vector Machines* Tiefe Neuronale Netze *Dimensionsreduktionsverfahren (PCA, LDA)* Unüberwachte Lernverfahren (Mischungsverteilungen, Clusterverfahren) *Contents of the course Statistical and Machine Learning:* **Short Description** The course on Statistical and Machine Learning presents an introduction into the components and algorithms prevalent in statistical and machine learning. Modern techniques will be presented for gleaning information from data. Both supervised and unsupervised learning algorithms will be discussed. The presented techniques can be applied to a variety of classification and regression problems, both for one-dimensional input data (e.g., speech), two-dimensional (e.g., image) or symbolic input data (e.g., documents). **Contents** *Introduction to classification problems, Bayesian and other decision rules* Optimization: gradient descent, algorithmic differentiation, optimization with constraints *Linear classifiers, Support Vector Machines* Deep neural networks (deep learning) *Dimensionality reduction (PCA, LDA)* Unsupervised learning (mixture densities, clustering techniques)

5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch des Moduls in der Lage, • Für ein vorgegebenes Klassifikations- oder Regressionsproblem eine geeignete Lösungsmethode auszuwählen • Methoden des überwachten und unüberwachten Lernens auf neue Problemstellungen anzuwenden und die Ergebnisse des Lernens kritisch zu bewerten • grundlegendes Verständnis von maschinellen Lernverfahren zu haben • Programmbibliotheken zur Realisierung von Klassifikatoren (z.B. neuronale Netze, Support Vector Machines) sinnvoll anwenden und eigene Programme schreiben zu können • ür eine vorgegebene Trainingsdatenmenge einen sinnvolle Wahl für die Dimension des Merkmalsvektors und die Komplexität des Klassifikators zu treffen zu können. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • Haben Fertigkeiten in Python erworben, die sie auch außerhalb dieser Anwendungsdomäne einsetzen können • Haben ein Verständnis für das Prinzip der Parsimomität und können es auf andere Fragestellungen übertragen • Können ein vorgegebenes Klassifikations- oder Regressionsproblem analysieren, eine Lösung synthetisieren und sie anschließend an Testdaten evaluieren • Können die in diesem Kurse gewonnenen Kenntnisse und Fertigkeiten auf andere Disziplinen übertragen • Können in einer Gruppe umfangreichere Aufgabenstellungen gemeinsam analysieren, in Teilaufgaben zerlegen und lösungsorientiert bearbeiten • Können die Leistungsfähigkeit, aber auch die Grenzen von maschinellen Lernverfahren bewerten

Domain competence:
After completion of the module students will be able to

- Find an appropriate approach to solving a given classification or regression problem
- Apply supervised or unsupervised learning techniques to data of various kinds and critically assess the outcome of the learning algorithms
- Can appreciate the power and limitations of machine learning algorithms
- Work with software for solving machine learning problems and write own software components, apply them to given data sets and optimize parameter settings
- Find, for a given training set size, an appropriate choice of classifier complexity und feature vector dimensionality

Key qualifications:
The students

- Have gathered sufficient proficiency in Python, which is valuable well beyond this course
- Can assess the importance of the principle of parsimony and are able to transfer it to other
- Are able to analyse a given classification or regression problem, synthesize a solution, and evaluate the performance on test data
- Are able to apply the knowledge and skills learnt in this course to a wide range of disciplines
- Can work cooperatively in a team and subdivide an overall task into manageable subtasks and work packages
- Acquired a general understanding of the power and limitations of machine learning algorithms

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Mohammad Soleymani
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/statistische-und-maschinelle-lernverfahre` **Methodische Umsetzung** *Vorlesungen mit überwiegendem Tafeleinsatz, vereinzelt Folien-Präsentation* Präsenzübungen mit Übungsblättern und Demonstrationen am Rechner *Praktische Übungen mit Python, in denen Studierende eigenständig Trainings- und Testdaten generieren, Lösungswege erarbeiten und Lernverfahren oder Klassifikatoren implementieren, testen, sowie Ergebnisse auswerten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines ausführlichen Skripts und stichwortartiger Zusammenfassungsfolien für jede Vorlesung. Lösungen der Übungsaufgaben und Beispielimplementierungen von Algorithmen werden zur Verfügung gestellt. *R.O. Duda, P.E. Hart, D.G.~ Stork, Pattern Classification, Wiley, 2001* I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: Deep Learning, MIT Press, 2016 *S. Theodoridis: Machine Learning, Academic Press, 2015* K. Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press, 1990

	Remarks of course Statistical and Machine Learning: **Course Homepage** `https://ei.uni-paderborn.de/en/statistical-and-machine-learning` **Implementation** *Lectures predominantly using the blackboard or overhead projector, occasional presentations of (powerpoint) slides ,* Exercise classes with exercise sheets and demonstrations on computer *Implementation of learning and classification algorithms on a computer by the students themselves; use of algorithms on real-world data or data generated on the computer, evaluation of the simulation results **Teaching Material, Literature** Course script and summary slides are provided to the students. Exercises and solutions to exercises, as well as sample implementations of algorithms are provided to the students *R.O. Duda, P.E. Hart, D.G.~ Stork, Pattern Classification, Wiley, 2001* I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: Deep Learning, MIT Press, 2016 *S. Theodoridis: Machine Learning, Academic Press, 2015* K. Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press, 1990

Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel			
Cognitive Systems Engineering - Special Topics			
Modulnummer / Module number: M.048.23019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.23019 Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23019 Cognitive Systems Engineering - Special Topics	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

zwei aus drei Themenbereichen, siehe Punkt 4

two out of three topics, see point 4

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:
Empfohlen: Interesse am Seminarthema und interdisziplinärer Arbeit.

None

Prerequisites of course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:
Recommended: Interest in the subject-matter and interdisciplinary work.

4	**Inhalte / Contents:** Das Modul wird in drei Teilen angeboten. Es sind **zwei aus drei** Teilen zu wählen. Jeder Teil hat einen Umfang von 2 SWS . *Inhalte der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* **Teil A** Auf die Sinnesorgane von Lebewesen treffen zu jedem Zeitpunkt eine sehr große Menge von Informationen ein, von denen nur ein kleiner Anteil bewusst verarbeitet werden kann. Unter visueller Aufmerksamkeit wird die Bündelung der verfügbaren kognitiven Ressourcen zur optimalen Verarbeitung visueller Stimuli verstanden. Das Seminar führt in die Modellierung und experimentelle Erforschung von visueller Aufmerksamkeit und die Übertragung auf intelligente technische Systeme ein. Hierbei wird gezeigt, wie über die Grenzen von Disziplinen hinweg, gemeinsam geforscht werden kann. Der Schwerpunkt liegt aktuell auf dem Thema Salienz. Die Veranstaltung findet immer im Wintersemester statt. **Teil B** Während unter “Sensation” die Signale aus der physikalischen Welt beschreiben, die unsere Sinnesrezeptoren erreichen, werden unter “Perzeption” die Prozesse verstanden, mit denen unser Gehirn die Signale auswählt, organisiert und interpretiert. Das Seminar vermittelt Studierenden technischer Studiengänge einen Überblick über die Grundlagen biologischer Sensorik und Wahrnehmung. Neben den spannenden und (teils nicht intiuitiven) Hintergründen dieser Themen findet eine kritische Diskussion der Übertragbarkeit der biologischen Konzepte und Mechanismen auf technische Systeme statt. Dieses Seminar liegt immer im Sommersemester. **Teil C** In diesem Seminar werden aktuelle Zwischenberichte und Ergebnisse aus laufenden Bachelor- und Masterarbeiten, Forschungsvorhaben und Drittmittelprojekten aus dem Fachgebiet GETLab - Technische Kognitive Systeme vorgestellt. Weiterhin finden Vorträge von Gästen der Arbeitsgruppe statt. Das Seminar wird im Sommer- und im Wintersemester angeboten. This module is offered in three parts. Students have to choose **two out of three**. Each part lasts two hours per week. *Contents of the course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* **Part A** At any given time, the sensory receptors of living beings are exposed to a very large amount of information, of which only a small proportion can be consciously processed. Visual attention is understood as the pooling of available cognitive resources for optimal processing of visual stimuli. The seminar introduces the modeling and experimental investigation of visual attention and the transfer to intelligent technical systems. It will be shown how research can be conducted jointly across disciplinary boundaries. The current focus is on the topic of saliency. The course always takes place in the winter semester. **Part B** While “sensation” describes the signals from the physical world that reach our sensory receptors, “perception” refers to the processes by which our brain selects, organizes, and interprets the signals. This seminar provides students in technical courses with an overview of the fundamentals of biological sensory systems and perception. In addition to the exciting and (sometimes non-intuitive) background of these topics, there will be a critical discussion of the transferability of biological concepts and mechanisms to technical systems. This seminar is always in the summer semester. **Part C** In this seminar, current interim reports and results from ongoing bachelor’s and master’s theses, research projects, and third-party funded projects from the GETLab - Technical Cognitive Systems department will be presented. Furthermore, there will be presentations by guests of the research group. The seminar is offered in the summer and winter semester.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden

- können grundlegende Fragestellungen für den Entwurf und die Implementierung von technischen kognitiven Systemen benennen,
- sind in der Lage, technische kognitive Systeme zu verwenden und zu evaluieren und
- können einfache psychophysikalische Experimente interpretieren, entwerfen, durchführen und auswerten.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- sind in der Lage Fachliteratur zu recherchieren,
- haben ein Verständnis für die fachspezifischen Forschungsansätze (Elektrotechnik / Informatik / Psychologie) entwickelt und
- haben ein kritisches Verständnis darüber, inwiefern die Nachahmung biologischer kognitiver Prozesse in technischen Systemen sinnvoll ist.

Domain competence:
The students

- are able to name basic research topics related to the design and the implementation of technical cognitive systems,
- can apply and evaluate technical cognitive systems, and
- are able to understand, design, implement and evaluate basic psychophysical experiments.

Key qualifications:
The students

- are able to research and evaluate technical literature,
- have developed an understanding of the discipline-related research approaches (computer science, electrical engineering, psychology) and
- are able to carefully consider the potential use of bio-inspired mechanisms in technical systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modul Homepage** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/cse] **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise erfolgen an den ersten Terminen des Seminars. *Hinweise der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Module Homepage** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/cse] **Teaching Material, Literature** Literature references will be given at the first dates of the seminar. *Remarks of course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* --- **ATTENTION - IMPORTANT NOTICE** The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group. ---

Topics in Signal Processing			
Topics in Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.92014	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Empfohlen: Signal- und Systemtheorie, mindestens Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie und linearen Algebra

None

Prerequisites of course Topics in Signal Processing:
Recommended: Signal and system theory, at least a basic understanding of probability and linear algebra

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Kurzbeschreibung
Diese Veranstaltung behandelt eine Auswahl von aktuellen Themen in der Signalverarbeitung. Ein Teil der Veranstaltung besteht aus regulären Vorlesungen, wohingegen der andere aktive Mitarbeit von Studenten voraussetzt.
Inhalt
Zunächst werden in diesem Kurs relevante Aspekte aus der linearen Algebra und Wahrscheinlichkeitstheorie wiederholt. Danach werden Studenten angeleitet, aktuelle Veröffentlichungen aus der Signalverarbeitungsliteratur zu lesen, zu analysieren und dann auch zu präsentieren.

Contents of the course Topics in Signal Processing:
Short Description
This course covers a selection of current topics in signal processing. One part of this course will follow a regular lecture format, while the other part will require active student participation.
Contents
This course will first review relevant aspects of linear algebra and probability theory. Then students will learn how to read, analyze, and present recent papers from the signal processing literature.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

In dieser Veranstaltung werden Studenten mit aktuellen Forschungsthemen in der Signalverarbeitung vertraut gemacht. Studenten lernen, wissenschaftliche Veröffentlichungen zu verstehen und kritisch zu bewerten. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Die in dieser Veranstaltung gelernten Prinzipien können auf andere Gebiete angewandt werden.

In this course, students will familiarize themselves with some current research topics in signal processing. They will learn to read and understand scientific publications and to critically evaluate results. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. They will be able to apply the principles they have learnt in this course to other areas.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

	none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Peter Schreier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Übung mit aktiver Beteiligung der Studenten, Präsentationen von Studenten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben. *Remarks of course Topics in Signal Processing:* **Course Homepage** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Implementation** Lectures and tutorials with active student participation, student presentations **Teaching Material, Literature** References will be given in the first lecture.

Wireless Communications			
Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.24022	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 2.-4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30 / 30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30 / 30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Wireless Communications:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

Prerequisites of course Wireless Communications:
Recommended:
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, Signal Theory, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Wireless Communications:* Die Veranstaltung vermittelt den Studierenden wichtige Grundkenntnisse, die für das Verständnis der Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme notwendig sind. Ausgehend von einem physikalischen Verständnis des Mobilfunkkanals, insbesondere der Phänomene Mehrwegeausbreitung und Dopplereffekt, wird die physikalische und statistische Modellierung von zeitvarianten Kommunikationssystemen dargestellt. Anschließend werden wichtige Diversitätsverfahren zur kanalangepassten Übertragung sowie Mehrfachzugriffsverfahren vorgestellt. *Contents of the course Wireless Communications:* The course provides students with important basic knowledge necessary for understanding the transmission concepts of modern mobile communication systems. Starting with a physical understanding of the mobile communications channel, in particular the phenomena of multipath propagation and the Doppler effect, the physical and statistical modeling of time-varying communication systems is presented. Subsequently, important diversity techniques for channel-adaptive transmission and multiple access techniques are introduced.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • grundlegende Ausbreitungsmechanismen im Mobilfunkkanal zu erklären; • physikalische und statistische Modelle zeitvarianter Kommunikationskanälen zu beschreiben und verwenden; • Fading-Prozesse zu analysieren und ihre Auswirkung auf die Übertragungszuverlässigkeit zu bewerten; • Diversitätsverfahren und ihre Bedeutung für robuste drahtlose Übertragungen zu erläutern; • gängige Mehrfachzugriffsverfahren zu erklären, vergleichen und bewerten; • Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme zu beurteilen; • theoretische Kanalmodelle mit praktischen Aspekten des Systementwurfs zu verknüpfen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • haben ausgeprägte analytische und mathematische Kompetenzen; • können komplexe physikalische Phänomene in ingenieurwissenschaftlichen Modellen abstrahieren; • können analytische Ergebnisse auf Systemebene interpretieren; • sind in klarer und präziser technischer Kommunikation geübt (mündlich und schriftlich); • können selbstständig Lernen und sich kritisch mit technischer Fachliteratur auseinandersetzen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- understand the fundamental propagation mechanisms in mobile radio channels;
- describe and apply physical and statistical modeling principles to time-varying communication channels;
- analyze fading processes and asses their impact on transmission reliability;
- explain diversity techniques, apply them to design physical layer signal processing algorithms, and assess their impact on transmission reliability;
- explain, compare, and evaluate common multiple access schemes;
- assess transmission concepts employed in contemporary mobile communication systems;
- connect theoretical channel models with practical system design considerations.

Key qualifications:
The students

- have strong analytical and mathematical reasoning skills;
- have the ability to abstract complex physical phenomena into engineering models;
- can interpret analytical results at the system level;
- have experience in clear and precise technical communication (oral and written)
- can learn independently and engage critically with technical literature.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung von Vorlesungsfolien; ausgiebige Literaturhinweise zu jeder Vorlesung. **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Lecture slides and reading assignments for each lecture; additional reading suggestions.

3 Wahlbereich

Wichtiger Hinweis:

Die Semesterangaben in den Modulen des Wahlbereiches weichen von den Angaben in den Besonderen Bestimmungen ab. Die Semesterangabe im Wahlbereich lautet in diesem Studiengang generell:

2.-3. Semester

Important note:

The semester information in the modules of the elective area differs from the information in the special regulations. The semester specification in the elective area in this degree program is generally:

2nd-3rd semester.

Wahlbereich / Elective area	
Module / Modules	* Wahlpflichtmodule aus dem Studiengang Master Elektrotechnik / Compulsory elective modules from the Master's degree program in Electrical Engineering * Wahlpflichtmodule aus dem Studiengang Master Computer Science Compulsory elective modules from the Master's degree program in Computer Science
Katalogverantwortlicher / Catalogue advisor	Prüfungsausschussvorsitzender CE (PAV CE)
Leistungspunkte / Credits ECTS	6

Wahlbereich / Elective area	
Prüfungsform / Type of examination	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat / Written or Oral Examination or Presentation
Dauer bzw. Umfang / Duration or Scope	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min / 120-180 min or 30-45 min or 30 min
Lernziele / Learning objectives	

3.1 ET-Katalog Energie und Umwelt

Bauelemente der Leistungselektronik

Power Electronic Devices

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.22003	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
de / en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.22003 Bauelemente der Leistungselektronik	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22003 Power Electronic Devices		60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3	**Teilnahmevoraussetzungen** / **Admission requierements:** Keine *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Bauelemente der Leistungselektronik:* **Empfohlen:** Kenntnisse der Vorlesung Leistungselektronik sind wünschenswert. None *Prerequisites of course Bauelemente der Leistungselektronik:* **Recommended:** Knowledge from lecture Power Electronics is desirable.
4	**Inhalte** / **Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Bauelemente der Leistungselektronik:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung behandelt Leistungshalbleiterbauelemente, ihre Beschaltung und Ansteuerung sowie Kühlung. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Auslegung magnetischer Bauteile und schnelle Strommessverfahren. **Inhalt** • Leistungshalbleiter-Bauelemente: Dioden, BJT, GTO, MOSFET, IGBT • Beschaltung, Ansteuerung und Schutz von Halbleiterventilen und Bauelementen; Kühleinrichtungsauslegung • Magnetwerkstoffe, Kernverlust-Messschaltungen, Wicklungsarten • Konzept der magnetischen Integration • Elektromechanisch-thermischer Entwurf ungekoppelter, linearer-gekoppelter, nichtlinearer Spulen und Schaltnetzteiltransformatoren und ihre Modellbildung • Kondensatoren in der Leistungselektronik • Filterentwurf • Dynamische Strommessverfahren *Contents of the course Bauelemente der Leistungselektronik:* **Short Description** The course covers power electronic devices, snubber circuits, driving and cooling. Another topic is the design of magnetic components and fast current sensors. **Contents** • power electronic devices: Diodes, BJT, GTO, MOSFET, IGBT • snubbers, driving and protection of semiconductor switches; cooling systems • magnetic materials, test circuit for core losses, winding patterns • concept of integrated magnetics • electromechanical design and modelling of uncoupled, linear coupled, nonlinear coils and SMPS transformers • capacitors • filters • dynamic current sensing

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachliche Kompetenzen
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- geeignete Leistungshalbleiterbauelemente, Magnetkernwerkstoffe und Kernbauformen gemäß Anforderungen auszuwählen
- Beschaltungen, Strommessverfahren und Ansteuerungen für Leistungshalbleiterbauelemente auszuwählen und zu dimensionieren
- magnetische Bauteile und Leistungsfilter zu entwerfen

Fachübergreifende Kompetenzen
Die Studierenden

- erlernen die Beschreibung realer Bauteile mit Ersatzschaltbildern
- erweitern ihre Kenntnisse zur rechnergestützten Schaltungsauslegung
- können die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen

Professional Competence
After attending the course, the students will be able

- to choose suitable power semiconductors, magnetic materials and core forms
- to select and dimension snubber circuits, current sensors and drivers for power semiconductors
- to design magnetic components and power filters

(Soft) Skills
The students

- learn to describe real components with an equivalent circuit
- improve their skills in computer aided circuit design
- extend their competence by self study

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Frank Schafmeister
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Bauelemente der Leistungselektronik:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://wwwlea.upb.de` **Methodische Umsetzung** *Vorlesung* Übung (Präsenzübung mit Übungsblättern und Rechnerübung im Computerraum) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien und Skript, weitere Literaturempfehlungen werden in der Vorlesung bekannt gegeben *Remarks of course Bauelemente der Leistungselektronik:* **Course Homepage** `http://wwwlea.upb.de` **Implementation** *lecture* exercise **Teaching Material, Literature** Lecture slides and notes, further literatur will be announced in lecture.

Circular Economy			
Circular Economy			
Modulnummer / Module number: M.104.7422	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3.	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.104.61241 Circular Economy (ET)	V2 S2	60	120	P	12

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.104.61241 Circular Economy	L2 S2	60	120	C	12

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

None

4	**Inhalte / Contents:** Die Inhalte dieses Moduls drehen sich um die interdisziplinäre Entwicklung von zirkulären Lösungen im Energiebereich. Die Unterthemen des Semesters werden spätestens zu Beginn der Einschreibung auf der Homepage des Fachbereichs (go.upb.de/NIWI_1) bekannt gegeben. Beispiele könnten sein: Kreislaufwirtschaft für Batterien, für Transformatoren, für Photovoltaikanlagen. Die grundlegenden Bestandteile sind: • Grundlagen der Kreislaufwirtschaft • Energiesysteme und ihre Komponenten • Semesterspezifisches Unterthema von CE im Energiebereich • Übungen zur Kreislaufwirtschaft in den ausgewählten Unterthemen der Energiebranche • Kritikalität • Erarbeitung der Problemstellung bzw. des Bedarfs • Durchführen einer Projektplanung • Rückkopplung und Optimierung The contents of this module revolve around the interdisciplinary development of circular economy (CE) solutions in the field of energy. The subtopics of the semester will be announced on the department's homepage (go.upb.de/NIWI_1) no later than the start of registration. Examples could be: CE for batteries, CE for transformers, CE for Photovoltaic systems. The basic components are: • Basics of Circular economy • Energy systems and its components • Assignments on circular economy in the selected subtopics of the energy branch • Semester-specific subtopic of CE in the energy field • Criticality • Elaboration of the problem or need • Carrying out project planning • Feedback and optimization
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden erwerben Fachwissen zum Unterthema des Semesters (siehe Inhalte). Dazu werden gemeinsam Problemstellungen formuliert oder von den Dozenten vorgegeben. Die Studierenden entwickeln Lösungen für ein nachhaltigeres Zusammenleben oder eine nachhaltigere Wirtschaft. Dies kann z.B. eine technische (evtl. patentfähige) Lösung, ein Prototyp für ein Produkt, eine Geschäftsidee für eine Ausgründung oder auch eine vertiefte Arbeit sein. Der Ansatz fördert kommunikative Fähigkeiten sowie die Fähigkeit, in einem Team zu arbeiten und über Lösungen für einen bestimmten CE-Ansatz nachzudenken. Students acquire specialist knowledge on the subtopic of the semester (see contents). For this purpose, problems are formulated together or given by the lecturer. The students develop solutions for a more sustainable coexistence or a more sustainable economy. This can e.g. be a technical (possibly patent-worthy) solution, a prototype for a product, a business idea for a spin-off or even an in-depth job. The approach promotes communicative skills as well as the ability to work in a team and reflect on solutions for a specific CE approach.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

□Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) ⊠Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	schriftliche Hausarbeit (Einzelarbeit) sowie Projektarbeit (Gruppenarbeit)	15-30 Seiten sowie Dokumentation und Präsentation (30 Minuten)	40%/60%

□Final module exam (MAP) □Module exam (MP) ⊠Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)			40%/60%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen (MTP) bestanden sind.

The credit points are awarded after the module examinations (MTP) were passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Dr. Reem Shaheen, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Schlüter

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** Die Studierenden erwerben Fachwissen zu den angegebenen Themen (siehe Inhalt). Dazu werden gemeinsam Problemstellungen formuliert oder vom Dozenten vorgegeben. Die Studierenden entwickeln Lösungen für ein nachhaltigeres Zusammenleben oder eine nachhaltigere Wirtschaft. Dies kann z.B. eine technische (evtl. patentfähige) Lösung, ein Prototyp für ein Produkt, eine Geschäftsidee für eine Ausgründung oder auch eine vertiefte Arbeit sein. Der Ansatz fördert kommunikative Fähigkeiten sowie die Fähigkeit, in einem Team zu arbeiten und über Lösungen für einen bestimmten CE-Ansatz nachzudenken. Die Veranstaltung ist teilnehmerbegrenzt. Die Angabe dieser Begrenzung ist in Summe für die zugehörigen Veranstaltungen gemeint, z.B. auch nach anderer Prüfungsordnung. Bitte hinterlegen Sie daher Ihr Interesse nach Windhundverfahren per E-Mail: reem.shaheen@uni-paderborn.de. Students acquire specialist knowledge on the mentioned topics (see contents). For this purpose, problems are formulated together or given by the lecturer. The students develop solutions for a more sustainable coexistence or a more sustainable economy. This can e.g. be a technical (possibly patent-worthy) solution, a prototype for a product, a business idea for a spin-off or even an in-depth job. The approach promotes communicative skills as well as the ability to work in a team and reflect on solutions for a specific CE approach. The number of participants for this event is limited. The specified limit refers to the total number of participants for the associated events, including, for example, those under different examination regulations. If you are interested, please e-mail reem.shaheen@uni-paderborn.de. Places will be allocated on a first come, first served basis.

Datengetriebenes Ressourcenmanagement			
Data-driven Resource Management			
Modulnummer / Module number: M.104.7420	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3.	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.104.61231 Datengetriebenes Ressourcenmanagement (ET)	V2 S2	60	120	P	12

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.104.61231 Data-driven Resource Management	L2 S2	60	120	C	12

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Datengetriebenes Ressourcenmanagement (ET):* In dieser Lehrveranstaltung erarbeiten die Studierenden gemeinsam mit den Lehrenden interdisziplinär Lösungen für die Schnittstellen der Themen IIOT (Industrial Internet of Things) und Ressourcenmanagement. Ziele sind zum Beispiel die Nutzung von industriellen Prozessen und Energiespeichern zur zeitlichen Verschiebung von Energieströmen (Unterstützung der Energiewende) sowie Erhöhung der innerbetrieblichen Ressourcen- und Energieeffizienz. Der Fokus liegt thematisch auf den Energie- und Materialbedarfen in der Industrie. Hierzu gibt es bereits einige technische Ansätze, die innerhalb der Veranstaltung verbessert oder miteinander verbunden werden sollen. Grundbestandteile der Veranstaltung (variiert je nach Semesteraufgabe): • Grundlagen zu Ressourcenmanagement und -effizienz • Grundlagen zu Energiemanagement und -effizienz, dezentrale Energieversorgung in der Industrie, Potenziale der Energiespeicherung • Messtechnik • Grundlagen zu Datenmanagement • Produktdatenmanagement und Produktlebenszyklusmanagement • Kreatives Finden von Lösungen • Vorstellung der Fragestellungen • Durchführung einer Projektierung als Gruppe *Contents of the course Datengetriebenes Ressourcenmanagement (ET):* In this course, students work together with lecturers to develop interdisciplinary solutions for the interfaces between the topics of IIOT (Industrial Internet of Things) and resource management. The objectives are, for example, the use of industrial processes and energy storage systems to shift energy flows over time (supporting the energy transition) and increasing internal resource and energy efficiency. The thematic focus is on energy and material requirements in industry. There are already a number of technical approaches to this, which will be improved or combined within the event. Basic components of the course (varies depending on the semester assignment): • Fundamentals of resource management and efficiency • Fundamentals of energy management and efficiency, decentralized energy supply in industry, potentials of energy storage • Measuring technology • Fundamentals of data management • Management of product data and product life cycle • Finding creative solutions • Presentation of the issues • Carrying out project planning as a group
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Zunächst erwerben die Studierenden das benötigte Fachwissen (siehe Inhalte). Anschließend werden Problemstellungen gemeinsam formuliert oder vom Dozenten/der Dozentin vorgegeben. Die Studierenden erarbeiten (möglichst in Gruppen) Lösungen, um die Nachhaltigkeit in der Produktion bzw. der Fabrik zu steigern. Dies kann z. B. eine technische (ggf. patentwürdige) Lösung, ein Prototyp für ein Produkt, eine Business-Idee zu einer Ausgründung oder auch eine eingehende Beschäftigung sein. Das Vorgehen fördert die kommunikativen Kompetenzen sowie Team- und Reflexionsfähigkeit. Die Veranstaltung ist teilnehmerbegrenzt. Die Angabe dieser Begrenzung ist in Summe für die zugehörigen Veranstaltungen gemeint, z.B. auch nach anderer Prüfungsordnung. Bitte hinterlegen Sie daher Ihr Interesse nach Windhundverfahren per E-Mail: olga.janzen@uni-paderborn.de.

Firstly, students acquire the necessary specialised knowledge (see contents). Subsequently, problems are formulated together or specified by the lecturer. The students develop solutions (preferably in groups) to increase sustainability in production or the factory. This can be, for example, a technical (possibly patentable) solution, a prototype for a product, a business idea for a spin-off or an in-depth study. The procedure promotes communication skills as well as teamwork and the ability to reflect.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

□Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) ⊠Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	schriftliche Hausarbeit (Einzelarbeit) sowie Projektarbeit (Gruppenarbeit)	15-30 Seiten sowie Dokumentation und Präsentation (30 Minuten)	40% / 60%

□Final module exam (MAP) □Module exam (MP) ⊠Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)			40% / 60%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Osman Altun, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Schlüter
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** Zunächst erwerben die Studierenden das benötigte Fachwissen (siehe Inhalte). Anschließend werden Problemstellungen gemeinsam formuliert oder vom Dozenten/der Dozentin vorgegeben. Die Studierenden erarbeiten (möglichst in Gruppen) Lösungen, um die Nachhaltigkeit in der Produktion bzw. der Fabrik zu steigern. Dies kann z. B. eine technische (ggf. patentwürdige) Lösung, ein Prototyp für ein Produkt, eine Business-Idee zu einer Ausgründung oder auch eine eingehende Beschäftigung sein. Das Vorgehen fördert die kommunikativen Kompetenzen sowie Team- und Reflexionsfähigkeit. Die Veranstaltung ist teilnehmerbegrenzt. Die Angabe dieser Begrenzung ist in Summe für die zugehörigen Veranstaltungen gemeint, z.B. auch nach anderer Prüfungsordnung. Bitte hinterlegen Sie daher Ihr Interesse nach Windhundverfahren per E-Mail: olga.janzen@uni-paderborn.de. *Hinweise der Lehrveranstaltung Datengetriebenes Ressourcenmanagement (ET):* Zunächst erwerben die Studierenden das benötigte Fachwissen (siehe Inhalte). Anschließend werden Problemstellungen gemeinsam formuliert oder vom Dozenten/der Dozentin vorgegeben. Die Studierenden erarbeiten (möglichst in Gruppen) Lösungen, um die Nachhaltigkeit in der Produktion bzw. der Fabrik zu steigern. Dies kann z. B. eine technische (ggf. patentwürdige) Lösung, ein Prototyp für ein Produkt, eine Business-Idee zu einer Ausgründung oder auch eine eingehende Beschäftigung sein. Das Vorgehen fördert die kommunikativen Kompetenzen sowie Team- und Reflexionsfähigkeit. Die Veranstaltung ist teilnehmerbegrenzt. Die Angabe dieser Begrenzung ist in Summe für die zugehörigen Veranstaltungen gemeint, z.B. auch nach anderer Prüfungsordnung. Bitte hinterlegen Sie daher Ihr Interesse nach Windhundverfahren per E-Mail: olga.janzen@uni-paderborn.de.

	Students first acquire the required subject knowledge (see content). They then formulate problems together or are given problems by the lecturer. Working, where possible, in groups, students develop solutions to increase sustainability in production and/or in the factory. This may involve, for example, a technical, potentially patentable solution, a prototype for a product, a business idea for a spin-off, or an in-depth exploration of a topic. This approach fosters communication skills, teamwork, and the ability to reflect. The number of participants for this event is limited. The specified limit refers to the total number of participants for the associated events, including, for example, those under different examination regulations. If you are interested, please e-mail olga.janzen@uni-paderborn.de. Places will be allocated on a first come, first served basis. *Remarks of course Datengetriebenes Ressourcenmanagement (ET):* Students first acquire the required subject knowledge (see content). They then formulate problems together or are given problems by the lecturer. Working, where possible, in groups, students develop solutions to increase sustainability in production and/or in the factory. This may involve, for example, a technical, potentially patentable solution, a prototype for a product, a business idea for a spin-off, or an in-depth exploration of a topic. This approach fosters communication skills, teamwork, and the ability to reflect. The number of participants for this event is limited. The specified limit refers to the total number of participants for the associated events, including, for example, those under different examination regulations. If you are interested, please e-mail olga.janzen@uni-paderborn.de. Places will be allocated on a first come, first served basis.

Energiesystemtechnik			
Energy System Technologies			
Modulnummer / Module number: M.048.22018	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.22018 Energiesystemtechnik	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22018 Energy System Technologies	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Energiesystemtechnik:
Keine

None

Prerequisites of course Energiesystemtechnik:
None

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Energiesystemtechnik:
Energiesystemtechnik beinhaltet die ganzheitliche Betrachtung von thermischen, elektrischen und chemischen Energiesystemen, bestehend aus der Bereitstellung von Nutzenergie, Energieverteilung und dem Energiebedarf. In dieser Veranstaltung werden die Grundlagen von Energiesystemen vermittelt. Dazu werden aufbauend auf den Beschreibungen der wesentlichen Einzelkomponenten insbesondere ihr Zusammenwirken in Hinblick auf die Deckung des Energiebedarfs analysiert. Dementsprechend werden Aspekte der Sektorenkopplung ebenso wie Speichertechnologien als Bestandteile von Energiesystemen eingeführt. Zusätzlich zur technischen Beschreibung und Auslegung von Energiesystemen werden auch ökologischen und ökonomischen Aspekte zur ganzheitlichen Bewertung von Energiesystemen vorgestellt.

Contents of the course Energiesystemtechnik:
The field of energy system technologies includes the holistic consideration of thermal, electrical and chemical energy systems, consisting of the provision of useful energy, energy distribution and energy demand. In this course the basics of energy systems are taught. Based on the descriptions of the essential individual components, the interaction of these components is analyzed with regard to the coverage of the energy demand. Accordingly, aspects of sector coupling as well as storage technologies are introduced as components of energy systems. In addition to the technical description and design of energy systems, ecological and economic aspects for the holistic evaluation of energy systems are presented.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können Energiesysteme ganzheitlich beurteilen, insbesondere können sie Energiesysteme in Hinblick auf den Energiebedarf analysieren und konzipieren. Sie kennen die einzelnen Komponenten und können diese sowohl technisch gestalten als auch die Wechselwirkungen im Kontext des Gesamtsystems sowie in sinnvollen Teilsystemen bewerten. Die Studierenden können Energiesysteme anhand energetischer, ökologischer und ökonomischer Indikatoren quantifizieren. Sie kennen Aspekte der erneuerbaren Energien, der Energiespeicherung und der Sektorkopplung und können diese auf Fragen nachhaltiger Energiesysteme anwenden.

Students can assess energy systems holistically, in particular they can analyze and design energy systems in terms of energy demand. They know the individual components and are able to design them both technically and to evaluate the interactions in the context of the overall system as well as in meaningful subsystems. Students are able to quantify energy systems using energy, ecological and economic indicators. They know aspects of renewable energies, energy storage and sector coupling and can apply these to questions of sustainable energy systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Henning Meschede
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Energy Transition			
Energy Transition			
Modulnummer / Module number: M.048.22014	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.22014 Energy Transition	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22014 Energy Transition	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Energy Transition:
Keine

None

Prerequisites of course Energy Transition:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Energy Transition:* **Kurzbeschreibung** Mit der Importabhängigkeit bzw. dem langfristigen Versiegen fossiler Energieträger wie Kohle, Öl & Erdgas, der zunehmenden Klimakrise, und dem Auslaufen der Atomprogramme in vielen Ländern, stellt die Notwendigkeit eine Energiestruktur basierend auf erneuerbaren Energien mit fluktuierender Abgabeleistung aufzubauen, ein große Herausforderung für das Ingenieurwesen dar. Diese Vorlesung nimmt sich dieser Herausforderung an und erklärt Funktionsweise und Performanceparameter aller Arten erneuerbarer Energiewandler, ihre Verfügbarkeit, ihr Zusammenwirken und Anpassungsmöglichkeiten an Verbrauchsstrukturen. Umgekehrt werden die Anpassungsmöglichkeiten der Lastkurven an die Verfügbarkeit der Energiequellen präsentiert, einschließlich neuer Konzepte, wie z.B. dezentrale Erzeugung, Speicherung von Energie bzw. Endprodukt sowie Energiemanagement, insbesondere Demand-Side-Management (DSM), P2X. **Inhalt** 1. Bestehende Energiestruktur: Geschichte, Entwicklung 2. Komponenten & Systeme: Erzeugung, Transport, Verbrauch 3. Merkmale variabler erneuerbarer Energien: Solarenergienutzung 4. Merkmale erneuerbarer Energien: Wasserkraft, Windkraft 5. Merkmale erneuerbarer Energien mit konstanter Verfügbarkeit: Biomasse, Geothermie 6. Individuelle und kombinierte Verfügbarkeit und Performance 7. Energiemanagement, Smart-Grid, Einbezug von Verkehr und Lastanpassung. 8. Speicherung: Typen, Leistung, Lebensdauer, Kosten, P2X 9. Neue Konzepte zur Kostenminimierung: DSM, dezentrale, autonome, semi-autonome Systeme, Schwarmkonzepte 10. Geographische Unterschiede: Lokale Ressourcen, Potentiale, Laststrukturen 11. Legislative Fragen: Zugangsbedingungen zum Netz, Spot-Markthandel für Strom 12. Ausflug zu praktischem Projektbeispiel

	Contents of the course Energy Transition: **Short Description** With dependency and the long-term depletion of fossil energy resources such as coal, oil, gas, the increasing climate crises, and the shut-down of the nuclear programs in many countries, the necessity to set-up an energy structure based on renewable energies with often fluctuating power output is a vast challenge for electrical engineering. This lecture faces that challenge explaining the functioning and performance parameters of all types of renewable energy conversion devices, their availability, interaction and adaptability to load structures. Vice versa, the adaptability of load curves to the availability of the energy sources shall be presented, including new concepts, e.g. decentralized generation, storage and energy management, in particular Demand-Side-Management, P2X. **Contents** 1. Existing energy structures: History, development 2. Present components & systems: generation, transport, consumption 3. Characteristics of variable renewable energy sources: solar thermal, photovoltaics, wind power 4. Characteristics of renewable energy sources: hydro & wind power 5. Characteristics of steady renewable energy sources: biomass, geothermal energy 6. Individual and combined availability and performance 7. Energy management, transport (smart grid) and storage necessities 8. Storage devices and concepts: types, performance, costs 9. New concepts to minimize costs: decentralized, autonomous and semi-autonomous systems, swarm concepts, demand side management, (DSM), power to gas & heat (P2X) 10. Geographical differences: Local resources, potentials, load structures 11. Legislative issues: access to grid & electricity spot-market 12. Excursion to practical project examples
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sollten nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage sein, die Implikationen, Notwendigkeiten und Eigenschaften einer neuen Energieversorgungsstruktur (Energiesystem 2.0) basierend auf erneuerbaren Energien, Speichern und Lastmanagement, mit allen Komponenten zu verstehen und anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • sind in der Lage die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der Implementierung einer nachhaltigen Energieversorgung einsetzen, • sind in der Lage, sich in der Zukunft selbst weiterzubilden.

Domain competence:
After completing the course the students should in a position to: understand the implications, necessities and properties of an energy supply system (energy system 2.0) based on the combination of different renewable energy sources, distribution, storage, demand side management and be familiarized with the components, its specific characteristics and parameters.
Key qualifications:
The students

- are enabled to apply the knowledge and skills across disciplines
- are enabled to use method-oriented approaches for the implementation of sustainable energy supply
- are enabled to educate themselves in the future

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur	120-180 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written Examination	120-180 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Stefan Krauter
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Energy Transition:* **Lehrveranstaltungsseite** https://panda.uni-paderborn.de/course/view.php?id=40584 `http://www.nek.upb.de/lehre` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit praktischen Beispielrechnungen & Simulationen; Exkursion zu Praxisbeispielen **Lernmaterialien, Literaturangaben** Sämtliche Präsentationen und Übungen sowie zusätzliches Material befinden sich in PANDA. https://panda.uni-paderborn.de/course/view.php?id=40584 Playlist für die Videos der Vorlesung: https://youtube.com/playlist?list=PLpgi7D_IhqlrD37mBky0fSoKb9hvfutE9 *Stephen W. Fardo, Dale R. Patrick: Electrical Power Systems Technology. The Fairmont Press, Inc., 2009.* Michel Crappe: Electric Power Systems. John Wiley & Sons, 2008. *Magdi S. Mahmoud: Decentralized Systems with Design Constraints. Springer: Berlin Heidelberg, New York, 2011.* Hermann Scheer, The Energy Imperative, 100 Percent Renewable Now. Routledge, 2011. *Hermann Scheer: Energy Autonomy. Earthscan/James & James, 2006.* Geert Verbong, Derk Loorbach: Governing the Energy Transition - Reality, Illusion or Necessity?, Routledge, 2012 *Fraunhofer ISE: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html* Solar Power Europe, PV Outlook 2022-26: https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2022 *Journals: Renewable Energy, Elsevier; IEEE Transactions on Power Systems **Bemerkungen** Exkursion zu einem praktischen Projekt (z.B. Pumpspeicherkraftwerk)

Remarks of course Energy Transition:
Course Homepage
https://panda.uni-paderborn.de/course/view.php?id=40584
`http://www.nek.upb.de/lehre`
Implementation
Lecture combined with practical examples & simulations; Excursion to see applications in practice.
Teaching Material, Literature
All presentations and exercises plus additional resources are available on PANDA
Playlist for the videos of the lecture: https://youtube.com/playlist?list=PLpgi7D_IhqlrD37mBky0fSoKb9hvfutE9
Literature
Stephen W. Fardo, Dale R. Patrick: Electrical Power Systems Technology. The Fairmont Press, Inc., 2009. Michel Crappe: Electric Power Systems. John Wiley & Sons, 2008. *Magdi S. Mahmoud: Decentralized Systems with Design Constraints. Springer: Berlin Heidelberg, New York, 2011.* Hermann Scheer, The Energy Imperative, 100 Percent Renewable Now. Routledge, 2011. *Hermann Scheer: Energy Autonomy. Earthscan/James & James, 2006.* Geert Verbong, Derk Loorbach: Governing the Energy Transition - Reality, Illusion or Necessity?, Routledge, 2012 *Fraunhofer ISE: Actual Facts for PV https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.html* Solar Power Europe, PV Outlook 2022-26: https://www.solarpowereurope.org/insights/market-outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2022 *Journals: Renewable Energy, Elsevier; IEEE Transactions on Power Systems
Comments
Excursion to a practical project (e.g., pumped hydro storage (PHS))

Geregelte Netzumrichter			
Control of Grid-Tied Converters			
Modulnummer / Module number: M.048.22021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.22021 Geregelte Netzumrichter	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22021 Control of Grid-Tied Converters	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Geregelte Netzumrichter:
Empfohlen:

- Grundlagen der Leistungselektronik (empfohlen)
- Grundlagen der Regelungstechnik (empfohlen)

	None *Prerequisites of course Geregelte Netzumrichter:* **Recommended:** • Basics of Power Electronics (recommended) • Basics of Control Theory (recommended)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Geregelte Netzumrichter:* Ziel dieses Moduls ist es, anwendungsorientierte Kenntnisse für den Betrieb von netzgekoppelten Umrichtern zu erarbeiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Funktionsprinzipien, Anforderungen sowie auf der Umrichterregelung. • Netzanschlussbedingungen und weitere Anforderungen • dreiphasige und einphasige Spannungszwischenkreis-Umrichtertopologien für den Netzbetrieb • Modellierung der Umrichterkomponenten für Simulationszwecke • Spannungs- und Stromtransformationen, die bei der Regelung verwendet werden • die Regelungsalgorithmen für diese Topologien • verschiedene PLLs und ihre Eigenschaften *Contents of the course Geregelte Netzumrichter:* The goal of this module is to develop application-oriented skills regarding the operation of grid-tied converters. The focus is on the operational principles, requirements, and control. • grid codes and other requirements • three-phase and single-phase voltage converter topologies for grid operation • modeling the inverter components for simulation purposes • voltage and current transformations utilized for control • the control algorithms for these topologies • different PLLs and their properties
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden: • die Funktionsweise netzgebundener Umrichter erläutern • ein Simulationsmodell für die Zielanwendung aufbauen • eine passende Regelung für den Netzbetrieb des einphasigen sowie des dreiphasigen Umrichters entwerfen und als Simulationsmodell implementieren • wesentliche Netzanforderungen erläutern After successfully completing the module, students will be able to • explain the functionality of grid-tied converters • set up a simulation model for the target application • design a suitable control system for the grid operation of the single-phase and three-phase inverters and implement it as a simulation model • explain essential grid code requirements

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr.-Ing. Jakub Kucka

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Leistungselektronik			
Power Electronics			
Modulnummer / Module number: M.048.22006	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.22006 Leistungselektronik	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22006 Power Electronics	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Leistungselektronik:
Keine

None

Prerequisites of course Leistungselektronik:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Leistungselektronik:* **Kurzbeschreibung** Diese Lehrveranstaltung bietet eine Einführung in das Thema Leistungselektronik. Sie erläutert verschiedene Umrichtertopologien, ihre Bausteine, Funktionsweise und Modulationstechniken für den Betrieb dieser Umrichter. **Inhalt** • Ideale Schalter und nicht ideale Halbleiterschalter • DC/DC-Wandler • DC/AC-Wandler • Pulsweitenmodulation und andere Modulationstechniken • Gleichrichter *Contents of the course Leistungselektronik:* **Short Description** This course introduces the topic of power electronics. It explains different converter topologies, their building blocks, functionality, and modulation techniques to operate these converters. **Contents** • ideal switches and non-ideal semiconductor switches • dc-dc converters • dc-ac converters • pulse-width modulation and other modulation techniques • rectifiers
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden: • die Grundprinzipien der Leistungselektronik zu erklären • die Funktionsweise verschiedener Umrichtertopologien zu erläutern • die typischen Strom- und Spannungsverläufe für die verschiedenen Umrichter zu skizzieren und grundlegende Dimensionierungsberechnungen durchzuführen • ein einfaches Simulationsmodell zum Testen des Wandlers zu erstellen After successfully completing the module, students will be able to • explain the base principles of power electronics • explain the functionality of different converter topologies • draw the typical waveforms of currents and voltages for the different converters, and do basic sizing calculations • create a simple simulation model to test the converter

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr.-Ing. Jakub Kucka

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Leistungselektronik:* • Die Vorlesung wird über **PANDA** organisiert. **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Folien und Tafelanschrift • Gruppenübungen • Rechnerübungen im Computerraum *Remarks of course Leistungselektronik:* • The course is organized via **PANDA**. **Implementation** • Lecture with presentation slides and blackboard notes • Exercises with the group • Exercises in the computer room

Leistungselektronische Stromversorgungen			
Switched mode power supplies			
Modulnummer / Module number: M.048.22016	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.22016 Leistungselektronische Stromversorgungen	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22016 Switched Mode Power Supplies	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Leistungselektronische Stromversorgungen:
Keine

None

Prerequisites of course Leistungselektronische Stromversorgungen:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Leistungselektronische Stromversorgungen:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung behandelt grundlegende Schaltungstopologien von potentialtrennenden leistungselektronischen Stromversorgungen sowie deren Modellbildung und Regelung. **Inhalt** • Grundschaltungen potentialtrennender Gleichstromsteller • Transformatoren, gekoppelte Spulen, Filter- und Schwingkreiskomponenten • Resonanztechnik für verlustarmes Schalten • Regelungstechnische Modellierung von Schaltnetzteilen • Netzgleichrichter mit sinusförmiger Stromaufnahme (PFC): Leistungsteil und Regelungskonzepte *Contents of the course Leistungselektronische Stromversorgungen:* **Short Description** The course covers basic circuit topologies of electronic power supplies with electric isolation as well as their modeling and control. **Contents** • Basic circuits of isolated DC-DC power converters • Transformers, coupled inductors, filters and resonant tanks • Resonant technique for low loss switching • Control design for switched mode power supplies • Rectifiers with sinusoidal current shape (PFC): power stage and control concepts
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • leistungselektronische Schaltungen in Abhängigkeit von der Betriebsart zu analysieren und die Anforderungen an Bauteile zu definieren • Topologien und Schalttechniken zu vergleichen und die Eignung einer Schaltung für bestimmte Anwendungen zu bewerten • Schaltungen und Regelungen mittels verschiedener Verfahren zu modellieren und zu dimensionieren **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • erlernen eine schaltungsbezogene Sichtweise und können die Anforderungen an Bauteile festlegen • erweitern ihre Kenntnisse zur rechnergestützten Schaltungs- und Reglerauslegung • können die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen; dazu wird eintägige praktische Übung angeboten

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to analyse power electronic circuits according to their mode of operation and component requirements
- to compare technologies and switching techniques and to evaluate their ability for specific applications
- to model circuit and control by special procedures

Key qualifications:
The students

- learn a circuit related view and the ability to define component requirements
- improve their skills in computer-based circuit- and control modelling
- extend their competence by self study; a one-day practical course will be offered therefore

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	120-180 min oder 30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination	120-180 min or 30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Frank Schafmeister
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Leistungselektronische Stromversorgungen:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://wwwlea.upb.de` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung • Übung (Präsenzübung mit Übungsblättern und Rechnerübung im Computerraum) • eintägiges Praktikum in der letzten Vorlesungswoche (Aufbau und Inbetriebnahme eines Schaltnetzteils) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien und Skript, weitere Literaturempfehlungen werden in der Vorlesung bekannt gegeben. *Remarks of course Leistungselektronische Stromversorgungen:* **Course Homepage** `http://wwwlea.upb.de` **Implementation** • lecture • exercise (classic exercise and computer-based simulation) • one-day practical course in the last week of lecture period (assembly and initial operation of a switched mode power supply) **Teaching Material, Literature** Lecture slides and skript, further literature will be announced within the lecture.

Mensch-Haus-Umwelt			
Men-House-Environment			
Modulnummer / Module number: M.048.22007	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.22007 Mensch-Haus-Umwelt	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22007 Men-House-Environment	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Mensch-Haus-Umwelt:
Keine

None

Prerequisites of course Mensch-Haus-Umwelt:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Mensch-Haus-Umwelt:* **Kurzbeschreibung** Die unterschiedlichen Bilanzierungsebenen von Energie und ihre jeweilige Aussagekraft. Berechnungsverfahren zur Energieintensität von Produkten unter Berücksichtigung einer ganzheitlichen Bilanzierung der Produktlebenszyklen. Mechanismen und Potentiale des rationellen Energieeinsatzes am Beispiel des Bereiches Bauen und Wohnen. **Inhalt** Die Veranstaltung Mensch-Haus-Umwelt behandelt die ganzheitliche Betrachtung von Energiebedarfselementen bei der Errichtung und Nutzung bis hin zum Abriss von Bauwerken (inkl. der Herstellung der Baumaterialien). Die Mechanismen zur energetischen Bilanzierung werden grundsätzlich erarbeitet und ihre Anwendung so vertieft, dass sie auf andere Lebenszyklusbetrachtungen (Produkte, Fertigungskomponenten, usw.) übertragbar sind. *Contents of the course Mensch-Haus-Umwelt:* **Short description** The different levels of energy accounting and their respective significance. Calculation methods for the energy intensity of products, taking into account a holistic balancing of the product life cycles. Mechanisms and potentials of rational energy energy use using the example of the building and housing sector. **Contents** The course Man-House-Environment deals with the holistic consideration of energy demand elements during the construction and use up to the demolition of buildings (including the production of building materials). The mechanisms for energy balancing are fundamentally elaborated and their application is deepened in such a way that they are transferable to other life cycle considerations (products, manufacturing components, etc.).
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** • Die Vielschichtigkeit der in der Regel als selbstverständlich hingenommenen Versorgung mit Energie soll vermittelt werden. Ein zentraler Punkt hierbei ist das in der Regel vernachlässigte gesamtenergetische Vorgehen bei Bilanzierungen. • Das Zusammenwirken ökologischer, ökonomischer und soziologischer Faktoren bei der Nutzung der Umwelt als Lebensraum soll herausgearbeitet werden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** • Die Veranstaltung soll neben den fachlichen Kompetenzen zusätzlich - durch die intensiven Zusammenarbeit in der Übungsphase - zu späterem projektbezogenen Arbeiten befähigen. Ein wichtiger Aspekt ist die Durchmischung der Fähigkeiten, die die Studierenden der verschiedenen Disziplinen durch ihre Ausbildung “mitbringen”.

Expertise:

- The complexity of energy supply, which is usually taken for granted, should be communicated. A central point here is the overall energy balancing approach, which often is neglected.
- The interaction of ecological, economic, and sociological factors for the use of the environment as a living space is to be worked out.

Cross-disciplinary competencies:

- In addition to the subject-specific competencies, the course also enables students for general project-related work in their later professional career – by the intensive cooperation during the exercise phase. An important aspect is the mixture of skills that the students from the different disciplines “bring along” through their education.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	120-180 min oder 30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination	120-180 min or 30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Stefan Krauter
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Mensch-Haus-Umwelt:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://www.nek.upb.de/lehre/projektarbeiten/mensch-haus-umwelt` **Methodische Umsetzung** Im Rahmen der in Form einer Frontalvorlesung angebotenen Lehrveranstaltung werden die Studierenden mit den Grundlagen und den Berechnungsverfahren vertraut gemacht. Im Rahmen der Übungen werden die Erkenntnisse durch eigene Auseinandersetzung mit den Themen vertieft und erweitert. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Zur Veranstaltung wird ein umfassendes Skript zur Verfügung gestellt in dem gezielt weitere Quellen zur Vertiefung benannt sind. *Remarks of course Mensch-Haus-Umwelt:* **Course Homepage** `http://www.nek.upb.de/lehre/projektarbeiten/mensch-haus-umwelt` **Implementation** In the course, which is offered in the form of a frontal lecture, the students are familiarized with the fundamentals and the calculation methods. In the context of the exercises, the knowledge is deepened and extended through their own examination of the topics. **Teaching Material, Literature** A comprehensive script for the course is provided in which further literature sources are mentioned.

Modellierung von Energiesystemen			
Modelling of Energy Systems			
Modulnummer / Module number: M.048.22019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.22019 Modellierung von Energiesys-temen	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22019 Modelling of Energy Systems	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Modellierung von Energiesystemen:
Keine

None

Prerequisites of course Modellierung von Energiesystemen:
None

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Modellierung von Energiesystemen:
Aufbauend auf einem ganzheitlichen Verständnis von Energiesystemen werden im Rahmen des Kurses die Grundlagen zur Modellierung ebendieser behandelt. Dafür werden ausgehend von einfachen Modellierungen alleinstehender energietechnischer Komponenten schrittweise umfangreichere Energiesysteme behandelt. Die Bedeutung von Eingangsdaten und Parametern sowie die Auswirkungen unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösungen werden thematisiert. Zudem werden verschiedene Techniken zur Verifizierung und Validierung, Optimierung von Simulationen, zur Sensitivitätsanalyse und zur Risikoabschätzung im Kontext regenerativer Energiesysteme gelehrt. Begleitet werden die Vorlesungen durch praktische Übungen, in denen die Studierenden schrittweise die vermittelten Lerninhalte durch den Aufbau und die Simulation eigener Modelle vertiefen.

Contents of the course Modellierung von Energiesystemen:
Building on a holistic understanding of energy systems, the course covers the basics of modelling them. For this purpose, starting with simple modelling of stand-alone energy technology components, more extensive energy systems are dealt with step by step. The importance of input data and parameters as well as the effects of different spatial and temporal resolutions are discussed. In addition, various techniques for verification and validation, optimising simulations, for sensitivity analysis and for risk assessment in the context of regenerative energy systems are taught. The lectures are accompanied by practical exercises in which the students gradually deepen the learning content by building and simulating their own models.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden werden durch die Teilnahme an dem Kurs in die Lage versetzt, sowohl Simulationsmodelle und -studien umfassend bewerten als auch eigenständig umfangreiche Energiesysteme modellieren zu können. Grundlegende Techniken der Modellierung, Optimierung und Bewertung sind erlernt und können angewendet werden.

By participating in the course, students are enabled to comprehensively evaluate simulation models and studies as well as to independently model extensive energy systems. Basic techniques of modelling, optimisation and evaluation are learned and can be applied.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Henning Meschede
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Solar Electric Energy Systems			
Solar Electric Energy Systems			
Modulnummer / Module number: M.048.22013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.22013 Solarelektrische Energiesysteme	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.22013 Solar Electric Energy Systems	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Solarelektrische Energiesysteme:
Keine

None

Prerequisites of course Solarelektrische Energiesysteme:
None

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Solarelektrische Energiesysteme:
Kurzbeschreibung
Umwandlung von Sonnenlicht in Elektrizität zur Energieversorgung: Grundlagen, Eigenschaften der Wandler und Materialien, Performance, Energieertrag, Lebensdauer, Normen, Prüfung, Systeme, Modellierung, Simulation.
Inhalt

1. Potentiale, astronomische Gegebenheiten, Einstrahlung, Abschattung
2. Konzentration, Solarthermische Energiewandlung
3. Prinzip der photovoltaischen Energiewandlung, Parameter photovoltaischer Wandler
4. Herstellung von Solarzellen, Solarmodulen, Kenndaten
5. PV-Systeme: Verkabelung, Wechselrichter, Netzanschlusskonfigurationsmöglichkeiten
6. PV-Systeme: Aufständerung, BoS, Autonome- vs. netzgebundene Systeme, Kosten
7. Marktentwicklung der PV: Off-Grid-Märkte, Märkte durch Einspeisetarife (FIT), Eigenversorgung, Kostenentwicklung
8. Simulation von PV-Systemen und Microgrids mittels HOMER
9. Leistung: optische, thermische und elektrische Modellierung, Simulation, Messung
10. Haltbarkeit von PV-Modulen und Systemen: Standards, Tests, Degradationseffekte
11. Energiespeicher
12. Aufbau von PV-Grossanlagen
13. PV für die generelle Stromversorgung: Vorhersagbarkeit der PV-Leistung, Kombination mit anderen Energiequellen, Speicher, Lastmanagement
14. Exkursion zu einem PV-Kraftwerk (Besuch, Interview mit dem Betreiber, Dokumentation)

Contents of the course Solarelektrische Energiesysteme:
Short Description
Conversion of solar energy into electricity for power supply: Basics, properties of devices and materials, performance issues, energy yield, durability, standards, testing, systems, modeling, simulation.
Contents

1. Potentials, Irradiance, Shadowing
2. Concentration, Solar thermal systems
3. Principle of photovoltaic conversion, making of solar cells, characteristics of photovoltaic conversion devices
4. Manufacturing of solar modules, characteristics, performance
5. PV systems: wiring, inverters, grid-connected system configurations
6. PV systems: Mounting, BoS, Off- vs. On-grid grid Systems, Costs
7. Market development of PV: off-grid markets, markets triggered by feed-in tariffs (FiT), self-sustainable markets, cost and price development
8. Simulation of PV Systems and Microgrids via the HOMER software
9. Performance: optical, thermal and electrical modeling, simulation, measurement
10. Durability of PV modules and systems: Standards, tests, degradation effects
11. Energy Storage
12. Set-up methods for large scale PV power plants
13. PV for general electricity supply: Predictability, combination with other energy sources, Modification, Load Management
14. Excursion to a solar research unit or a solar project

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die spezifischen Eigenschaften einer Energieerzeugung mittels solarthermischer und photovoltaischer Wandler zu verstehen.
- solarelektrische Kraftwerke sowohl in ihrer Gesamtheit also auch in gewissen Details zu verstehen, zu analysieren, zu beurteilen, und im groben Umfang PV-Kraftwerke zu planen.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- sind in der Lage die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen,
- können methodenorientiertes Vorgehen bei der Implementierung einer nachhaltigen Energieversorgung einsetzen
- sind in der Lage, sich in der Zukunft selbst weiterzubilden

Domain competence:
After completing the course the students should be Students in a position to:

- be familiarized with the basics of solar electric power engineering.
- understand the specific characteristics of a power supply via solar-thermal and photovoltaic energy conversion. understand, analyze and evaluate solar electric power plants and to be enabled to plan a layout of a PV power plant

Key qualifications:
The students

- are enabled to apply the knowledge and skills across disciplines
- are enabled to use method-oriented approaches for the implementation of sustainable energy supply
- are enabled to educate themselves in the future.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, UF Technik Lehramt GyGe Master v5, UF Technik Lehramt HRSGe Master v5
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Stefan Krauter
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Solarelektrische Energiesysteme:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://www.nek.upb.de/lehre` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit praktischen Beispielrechnungen & Simulationen; Exkursion zu Praxisbeispielen / **Lernmaterialien, Literaturangaben** Martin A. Green: Solar Cells Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications, UNSW, Sydney, Publisher: Prentice Hall, 1981. Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel Watt, Richard Corkish, Alistair Sproul: Applied Photovoltaics, UNSW, Sydney, softcover version: Earthscan, 2012. Stefan Krauter: Solar Electric Power Generation. 1st Ed. Springer: Berlin, Heidelberg, New York, 2006. Stefan Krauter: Solar Electric Power Generation. 2nd Ed. Springer: Berlin, Heidelberg, New York, 2019 (under preparation, preprint available). Stefan Krauter, S.: Simple and effective methods to match photovoltaic power generation to the grid load profile for a PV based energy system. In: Solar Energy 159 (2018) S. 768–776. Stephen W. Fardo, Dale R. Patrick: Electrical Power Systems Technology. The Fairmont Press, Inc., 2009.

	Remarks of course Solarelektrische Energiesysteme: **Course Homepage** `http://www.nek.upb.de/lehre` **Implementation** Lecture combined with practical examples & simulations; Excursion to see applications in practice **Teaching Material, Literature** Martin A. Green: Solar Cells Solar Cells: Operating Principles, Technology, and System Applications, UNSW, Sydney, Publisher: Prentice Hall, 1981. Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel Watt, Richard Corkish, Alistair Sproul: Applied Photovoltaics, UNSW, Sydney, softcover version: Earthscan, 2012. Stefan Krauter: Solar Electric Power Generation. 1st Ed. Springer: Berlin, Heidelberg, New York, 2006. Stefan Krauter: Solar Electric Power Generation. 2nd Ed. Springer: Berlin, Heidelberg, New York, 2019 (under preparation, preprint available). Stefan Krauter, S.: Simple and effective methods to match photovoltaic power generation to the grid load profile for a PV based energy system. In: Solar Energy 159 (2018) S. 768–776. Stephen W. Fardo, Dale R. Patrick: Electrical Power Systems Technology. The Fairmont Press, Inc., 2009.

3.2 ET-Katalog Kognitive Systeme

Advanced Topics in Robotics			
Advanced Topics in Robotics			
Modulnummer / Module number: M.048.92006	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92006 Advanced Topics in Robotics	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92006 Advanced Topics in Robotics	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:
Keine

None

Prerequisites of course Advanced Topics in Robotics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung Advanced Topics in Robotics baut auf dem Kurs Robotics auf. Sie führt die teilnehmenden Studierenden an aktuelle Forschungsfragen im Bereich autonomer und teleoperierter mobiler Roboter zur Lösung interdisziplinärer Probleme heran. Die Herausforderungen für die Entwicklung intelligenter mobiler Systeme werden analysiert und aktuelle Lösungen vorgestellt. **Inhalt** • Architekturen für Robotersysteme • Middleware für Hardwareabstraktion • Gerätetreiber und Bibliotheken • Visualisierung • lokale Navigationsverfahren (Kollisionsvermeidung) • globale Navigationsverfahren (Wegfindung) • Methoden zur Navigation und Selbstlokalisation (SLAM) • Grundlagen der Handlungsplanung • Ausblick zu Multi-Agenten-Systemen *Contents of the course Advanced Topics in Robotics:* **Short Description** The course Advanced Topics in Robotics is based on the course Robotics. The students are introduced to current research topics in the field of autonomous and teleoperated mobile robots to solve interdisciplinary issues. The challenges encountered in developing intelligent mobile systems are analyzed and current solutions presented. **Contents** • Architectures of robot systems • Middleware for hardware abstraction • Device drivers and libraries • Visualization • Local navigation processes (collision avoidance) • Global navigation processes (pathfinding) • Navigation and self-localization methods (SLAM) • Fundamentals of task planning
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden • können die grundlegenden Architekturen für mobile Roboter benennen und ihre Eigenschaften analysieren, • beherrschen die grundlegenden Methoden für die Navigation und Regelung von mobilen Robotern und • können diese selbstständig implementieren, testen und anwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen** Die Studierenden beherrschen die Grundlagen der Programmierung in C.

Domain competence:
The students

- are able to name and analyze the basic robot architectures for mobile robots,
- have a good command of the methods for the navigation and control of mobile robots and
- are able to implement, test and apply them.

Key qualifications:
The students have a good command of programming in the C language

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Topics in Robotics:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/atir` **Methodische Umsetzung** • Die theoretischen und methodischen Grundlagen werden zunächst im Rahmen einer Vorlesung eingeführt. • Eine Einübung der präsentierten Methoden erfolgt danach im Übungsteil. • Abschließend werden einfache Algorithmen von den TeilnehmerInnen implementiert, getestet und angewendet. • Im Praktikumsteil werden die notwendigen Programmierkenntnisse vermittelt, er ist aber ausdrücklich nicht als Programmierkurs gedacht. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher aus der Lehrbuchsammlung werden noch bekannt gegeben. • Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes) • McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991 • Siegwart, Roland; Nourbakhsh, Illah R. and Scaramuzza, David: Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 2011, ISBN-13: 978-0262015356

Remarks of course Advanced Topics in Robotics:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/atir`
Implementation

- The theoretical and methodical fundamentals will be introduced during the lecture.
- The methods presented will be practiced during the subsequent exercise / lab part.
- Finally, the participants will implement, test, and apply simple algorithms.
- The necessary programming skills will be taught during the practical, this is explicitly not considered a programming course.

Teaching Material, Literature
Allocation of lecture notes; information on textbooks stocked in the textbook collection will be announced later.

- Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes)
- McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991
- Siegwart, Roland; Nourbakhsh, Illah R. and Scaramuzza, David: Introduction to Autonomous Mobile Robots. The MIT Press, 2011, ISBN-13: 978-0262015356

Digital Image Processing I			
Digital Image Processing I			
Modulnummer / Module number: M.048.92008	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92008 Digital Image Processing I	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92008 Digital Image Processing I	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:
Keine. Grundlegende Programmierkenntnisse sind von Vorteil.

None

Prerequisites of course Digital Image Processing I:
None. Basic programming knowledge is an advantage.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt eine grundlegende Einführung in die digitale Bildverarbeitung. Nach erfolgreichem Abschluss des Kurses sind die Studierenden in der Lage, die grundlegenden Konzepte der Bildgenerierung und -repräsentation fundiert zu beschreiben. Darüber hinaus beherrschen sie die Anwendung von Methoden zur Verbesserung und Segmentierung von Grauwert- und Farbbildern im Orts- und Frequenzbereich sowie zur Bildkompression. Die Studierenden sind in der Lage, diese Techniken eigenständig auszuwählen, zu implementieren, zu testen und auf komplexe Bildverarbeitungsaufgaben anzuwenden. Ein typisches Anwendungsfeld ist Automatisierungstechnik. **Inhalt** 1. Introduction (Graphics File Formats, Application Examples, Human Vision) 2.Image Formation and Image Models (Camera Models, Image Formation, Image Sampling and Quantization) 2. Image Enhancement in the Spatial Domain (Gray-Level Transformation Functions, Histogram Processing, Spatial Filtering) 3. Image Enhancement in the Frequency Domain (2D Fourier Transform, Smoothing and Sharpening Filters, Implementation Details) 4. Color Image Processing (Color Spaces, Color and Pseudo-Color Image Processing, Spatial Filtering) 5. Image Compression and Reduction (Types of Redundancy, Compression Models, Lossless and Lossy Compression) *Contents of the course Digital Image Processing I:* **Short Description** This course provides a fundamental introduction to digital image processing. Upon successful completion, students will be able to thoroughly describe the basic concepts of image generation and representation. Additionally, they will acquire the skills to apply methods for enhancing and segmenting grayscale and color images in both the spatial and frequency domains, as well as techniques for image compression. Students will be capable of independently selecting, implementing, testing, and applying these techniques to complex image processing tasks. A typical application area is automation technology. **Contents** 1. Introduction (Graphics File Formats, Application Examples, Human Vision) 2.Image Formation and Image Models (Camera Models, Image Formation, Image Sampling and Quantization) 2. Image Enhancement in the Spatial Domain (Gray-Level Transformation Functions, Histogram Processing, Spatial Filtering) 3. Image Enhancement in the Frequency Domain (2D Fourier Transform, Smoothing and Sharpening Filters, Implementation Details) 4. Color Image Processing (Color Spaces, Color and Pseudo-Color Image Processing, Spatial Filtering) 5. Image Compression and Reduction (Types of Redundancy, Compression Models, Lossless and Lossy Compression)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz
Die Studierenden

- sind in der Lage. die Grundlagen der Bildgenerierung und der Bilddigitalisierung zu beschreiben und
- können Methoden zur Bildverbesserung im Orts- und Frequenzraum, zur Bildsegmentation und zur Bilddatenreduktion selbstständig für komplexe Bildbearbeitungsaufgaben auswählen, implementieren, testen und anwenden.

Fachübergreifende Kompetenzen
Die Studierenden beherrschen die Grundlagen der Programmierung in Python.

Domain competence
The students

- are able to describe the basics of image generation and image digitization and
- are able to select, implement, test and apply methods for the enhancement of images in the spatial and frequency domain, image segmentation and data reduction independently for complex image processing tasks.

Key qualifications
The students have a good command of programming in Python.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Markus Hennig
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I:* **Zielgruppe** Masterstudierende der Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/get/teaching/dip-i` **Literatur** • Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). Digital Image Processing (4th Global Ed.). Pearson. Print ISBN: 978-1-292-22304-9, E-ISBN: 978-1-292-22307-0. • Mertsching, B. (2024). Digital Image Processing I (Lecture Notes). • Jähne, B. (2024). Digitale Bildverarbeitung (8th Edition, German Language). Springer. Print ISBN: 978-3-662-59509-1, E-ISBN: 978-3-662-59510-7. **Kommentar** Die in der Vorlesung vermittelten Inhalte werden in den Übungen mithilfe von Python praktisch umgesetzt. In der ersten Übung wird dazu eine Einführung gegeben, sodass auch ein Einstieg mit geringen Programmierkenntnissen möglich ist. Eine regelmäßige und aktive Teilnahme an Vorlesungen und Übungen wird erwartet.

Remarks of course Digital Image Processing I:

Target group

Master's students in electrical engineering and related fields.

Course Homepage

`https://ei.uni-paderborn.de/get/teaching/dip-i`

Literature

- Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). Digital Image Processing (4th Global Ed.). Pearson. Print ISBN: 978-1-292-22304-9, E-ISBN: 978-1-292-22307-0.
- Mertsching, B. (2024). Digital Image Processing I (Lecture Notes).
- Jähne, B. (2024). Digitale Bildverarbeitung (8th Edition, German Language). Springer. Print ISBN: 978-3-662-59509-1, E-ISBN: 978-3-662-59510-7.

Comment

The material presented in the lecture is implemented in the exercises using Python. The first exercise provides an introduction to this, so that it is possible to get started with limited programming knowledge. Regular and active participation in lectures and exercises is expected.

Digital Image Processing II			
Digital Image Processing II			
Modulnummer / Module number: M.048.92010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92010 Digital Image Processing II	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92010 Digital Image Processing II	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:
Empfohlen:
Grundkenntnisse der Bildverarbeitung, (zum Beispiel aus der Lehrveranstaltung Digital Image Processing I (L.048.23002 / L.048.92008)

None

Prerequisites of course Digital Image Processing II:
Recommended:
Basic knowledge of image processing, (e. g. from the course Digital Image Processing I (L.048.23002 / L.048.92008)

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung " Digital Image Processing II " ist ein Modul im Katalog " Cognitive Systems " für Studierende des Masterstudiengangs Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. Es schließt an die Grundlagenveranstaltung " Digital Image Processing I " an und behandelt fortgeschrittene Methoden der Bildverarbeitung. **Inhalte** Die folgenden Themen werden im Laufe des Semesters behandelt: • Bildsegmentierung (Linien- und Kantenerkennung, Segmentierung nach Regionen, Superpixel) • Merkmalsextraktion (Merkmalsdeskriptoren, Hauptkomponenten, Skalen-Invariante-Merkmal-Transformation (SIFT)) • Stereobildanalyse (Tiefenwahrnehmung, Stereogeometrie, Korrespondenzproblem) • Bewegung (Bewegungserkennung, optischer Fluss, Bewegungsmodelle, Bewegungssegmentierung) • Objekterkennung und Bildmusterklassifikation (Muster, Klassifikatoren, neuronale Netze und Deep Learning, Convolutional Neural Networks (CNN)) Nachdem die Studierenden die Methoden in der Vorlesung kennengelernt haben, werden sie diese in Jupyter-Notebooks implementieren. *Contents of the course Digital Image Processing II:* **Short Description** The course "Digital Image Processing II" is a module in the catalog "Cognitive Systems" for advanced students of the Electrical Engineering Master's program and related degree programs. It follows the fundamental course "Digital Image Processing I" and covers methods for high-level image processing. **Contents** The following topics will be discussed during the semester: • Image segmentation (line and edge detection, segmentation by region, superpixels) • Feature extraction (feature descriptors, principal components, Scale-Invariant-Feature-Transform (SIFT)) • Stereo image analysis (depth perception, stereo geometry, correspondence problem) • Motion (motion detection, optical flow, motion models, motion segmentation) • Object recognition and image pattern classification (patterns, classifiers, neural networks and deep learning, convolutional neural networks (CNN)) After learning about the methods in the lecture, the students will implement them in Jupyter Notebooks.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden

- können die grundlegenden Methoden zur Bildsegmentation anwenden,
- beherrschen Methoden zur Beschreibung von Bildmerkmalen und zur Objekterkennung,
- können Kenntnisse aus der Bildverarbeitung auf die Behandlung anderer mehrdimensionaler Signale übertragen und
- können den aktuellen Stand des Wissens in den vorgestellten Gebieten beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden können die Funktion und das Verhalten komplexer technischer Prozesse und ihre Einbindung in das gesellschaftliche Umfeld unter ethischen Gesichtspunkten erkennen und bewerten.

Domain competence:
The students

- can apply methods for image segmentation, representation and description of features, stereo and motion image analyis, objection recognition and machine learning,
- are able to transfer the acquired knowledge of image processing to the processing of other multi-dimensional signals,
- are able to describe the state-of-the-art of the presented topics, and
- are able to implement the presented methods.

Key qualifications:
The students are able to identify and evaluate the function and the behavior of complex technical processes and their integration into the social environment while also considering ethical aspects.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Markus Hennig
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digital Image Processing II:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/dip-II] **Lehrmaterialien** siehe PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de]) **Literaturangaben (Auszug)** • Mertsching, Bärbel: Digital Image Processing (lecture notes) • Forsyth, David and Ponce, Jean: Computer Vision - A Modern Approach. Prentice-Hall, 2nd ed., 2011. ASIN: B006V372KG • Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E.: Digital Image Processing. Pearson Education Limited, 4th ed., 2018. ISBN-13: 978-1-292-22304-9 • Jähne, Bernd: Digitale Bildverarbeitung. Springer, 7. Aufl., 2012. ISBN-13: 978-3642049514

Remarks of course Digital Image Processing II:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
[http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/dip-II]
Course Documents
see PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de])
References (excerpt)

- Mertsching, Bärbel: Digital Image Processing (lecture notes)
- Forsyth, David and Ponce, Jean: Computer Vision - A Modern Approach. Prentice-Hall, 2nd ed., 2011. ASIN: B006V372KG
- Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E.: Digital Image Processing. Pearson Education Limited, 4th ed., 2018. ISBN-13: 978-1-292-22304-9
- Jähne, Bernd: Digitale Bildverarbeitung. Springer, 7. Aufl., 2012. ISBN-13: 978-3642049514

Robotics			
Robotics			
Modulnummer / Module number: M.048.92012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92012 Robotics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92012 Robotics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Robotics:
Keine

None

Prerequisites of course Robotics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Robotics:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung “Robotics” ist ein Basismodul im Katalog “Kognitive Systeme” des Masterstudiengangs Elektrotechnik und verwandter Studiengänge. Es ist der erste von zwei Kursen, die die relevanten Konzepte und Techniken auf dem Gebiet der Robotermanipulatoren und mobilen Roboter abdecken. Dieser Kurs konzentriert sich auf die Modellierung und Steuerung von Roboterarmen, während sein Folgekurs im Wintersemester (Advanced Topics in Robotics (L.048.23020 / L.048.92006) sich auf mobile Roboter konzentriert. Die Herausforderungen für die Entwicklung von autonomen intelligenten Systemen werden analysiert und aktuelle Lösungen vorgestellt. **Inhalte** • Sensoren, Effektoren, Aktoren • Homogene Koordinaten, allgemeine Transformationen, Denavit-Hartenberg-Parameter • Kinematik und Dynamik von Roboterarmen und mobilen Robotern Nach der Vorstellung der Methoden in der Vorlesung werden die Studierenden diese mit Matlab und Octave implementieren. *Contents of the course Robotics:* **Short Description** The course “Robotics” is a fundamental module in the catalog “Cognitive Systems” of the Electrical Engineering Master’s program and related degree programs. It is the first of two courses that cover the relevant concepts and techniques in the field of robot manipulators and mobile robots. This course concentrates on modeling and controlling robot arms, while its successor in the winter semester (Advanced Topics in Robotics (L.048.23020 / L.048.92006) focuses on mobile robots. The challenges for the development of autonomous intelligent systems will be analyzed and the current solutions will be presented. **Contents** • Sensors, effectors, actuators • Homogenous coordinates, general transformations, Denavit-Hartenberg parameters • Kinematics and dynamics of robot arms and mobile robots After the presentation of methods in the lecture, the students will use Matlab and Octave to implement them.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden • können grundlegende Methoden aus der Steuerungs- und Systemtheorie auf die Robotik übertragen und • sind in der Lage, geeignete Methoden zur Modellierung sowie zur Planung und Steuerung der Bewegungen von Roboterarmen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind in der Lage, die Funktion und das Verhalten von Robotern und deren Einbindung in das soziale und wirtschaftliche Umfeld zu erkennen und zu bewerten und dabei auch ethische Aspekte zu berücksichtigen.

Domain competence:
The students

- know how to transfer basic methods from control and system theory to robotics and
- are able to apply adequate methods to model as well as plan and control the movements of robot arms.

Key qualifications:
The students are able to identify and evaluate the function and behavior of robots and their integration into the social and economic environment while also considering ethical aspects.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Robotics:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/robotik] **Lehrmaterialien** siehe PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de]) **Literaturangaben (Auszug)** • Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes) • McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991 • Lynch, Kevin M. and Park, Frank C.: Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017. ISBN-13 : 978-1107156302

Remarks of course Robotics:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
[http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/robotik]
Course Documents
see PANDA ([https://panda.uni-paderborn.de])
References (excerpt)

- Mertsching, Bärbel: Robotics (lecture notes)
- McKerrow, Phillip J.: Introduction to Robotics. Addison-Wesley, 1991
- Lynch, Kevin M. and Park, Frank C.: Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press, 2017. ISBN-13 : 978-1107156302

Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies

Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.23023	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
Keine

None

Prerequisites of course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* Die Lehrveranstaltung vermittelt Methoden und Architekturen für die ressourceneffiziente Ausführung moderner KI-Anwendungen unter Berücksichtigung von Leistungs-, Energie- und Speicherrestriktionen. Behandelte Themen umfassen: • Grundlagen des Deep Learning und Trainingsverfahren • Charakteristika moderner KI-Workloads (z. B. CNNs und Transformer) • Rechen-, Speicher- und Energieengpässe bei der KI-Inferenz • Methoden zur effizienten Modellgestaltung und -optimierung: – Quantisierung – Pruning und Sparsity – Knowledge Distillation – Effiziente neuronale Netze (z. B. MobileNet) • Abbildung von KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen • Architekturen für KI-Beschleunigung: – SIMD- und Vektorarchitekturen – GPU-Architekturen – Dataflow-Architekturen und systolische Arrays – NPUs und domänenspezifische Beschleuniger • Hardware-Software-Co-Design für effiziente KI-Systeme *Contents of the course Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies:* The course introduces methods and architectures for resource-efficient execution of modern artificial intelligence applications under performance, energy, and memory constraints. Topics include: • Fundamentals of deep learning and training methodologies • Characteristics of modern AI workloads (e.g., CNNs and transformers) • Computational, memory, and energy bottlenecks during AI inference • Techniques for efficient model design and optimization: – Quantization – Pruning and sparsity – Knowledge distillation – Efficient neural network architectures (e.g., MobileNet) • Mapping AI workloads onto hardware platforms • Architectures for AI acceleration: – SIMD and vector architectures – GPU architectures – Dataflow architectures and systolic arrays – Neural Processing Units (NPUs) and domain-specific accelerators • Hardware-software co-design for efficient AI systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- grundlegende Prinzipien des Deep Learning aus einer Systemperspektive einzuordnen,
- KI-Workloads hinsichtlich ihrer Rechen-, Speicher- und Kommunikationsanforderungen zu analysieren,
- Performance-, Energie- und Speicherengpässe zu identifizieren,
- Methoden zur Modelloptimierung gezielt anzuwenden,
- KI-Workloads auf unterschiedliche Hardwareplattformen abzubilden und zu bewerten,
- verschiedene Architekturen für KI-Beschleunigung zu vergleichen,
- Trade-offs zwischen Genauigkeit, Latenz, Durchsatz und Energieeffizienz zu analysieren,
- Hardware-Software-Co-Design-Methoden für ressourceneffiziente KI-Systeme anzuwenden.

After successful completion of the module, students are able to:

- explain fundamental principles of deep learning from a systems perspective,
- analyze AI workloads with respect to computational, memory, and communication requirements,
- identify performance, energy, and memory bottlenecks,
- apply model optimization techniques to improve efficiency,
- map AI workloads onto different hardware platforms and evaluate their suitability,
- compare different architectures for AI acceleration,
- analyze trade-offs between accuracy, latency, throughput, and energy efficiency,
- apply hardware-software co-design methodologies for resource-efficient AI systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Lennart Bamberg
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** PANDA (mehr Informationen werden in der ersten Vorlesung gegeben) **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** PANDA (more information will be provided in the first lecture) **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Statistical and Machine Learning			
Statistical and Machine Learning			
Modulnummer / Module number: M.048.23012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.23012 Statistical and Machine Learning	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.23012 Statistical and Machine Learning	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus der Lehrveranstaltung Verarbeitung statistischer Signale. Wünschenswert sind auch Programmierkenntnisse.

None

Prerequisites of course Statistical and Machine Learning:
Recommended: Elementary knowledge in probability theory, as is taught in the course Statistical Signal Processing. Basic programming skills are desirable.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung "Statistical and Machine Learning" vermittelt einen Einblick in die Komponenten und Algorithmen von statistischen und maschinellen Lernverfahren. Es werden verschiedenste Ansätze vorgestellt, wie Charakteristika aus Daten entweder überwacht oder unüberwacht gelernt werden können und wie unbekannte Muster erkannt werden. Die vorgestellten Techniken können auf vielfältige Klassifikations- und Regressionsprobleme angewendet werden, sei es für eindimensionale Signale (z.B. Sprache), zweidimensionale (z.B. Bilder) oder symbolische Daten (z.B. Texte, Dokumente). **Inhalt** *Einführung in Klassifikationsverfahren, Bayes'sche und andere Entscheidungsregeln,* Optimierungsverfahren: Gradientenabstieg, algorithmisches Differenzieren, Optimierung mit Randbedingung *Lineare Klassifikatoren: Perzeptron, Support Vector Machines* Tiefe Neuronale Netze *Dimensionsreduktionsverfahren (PCA, LDA)* Unüberwachte Lernverfahren (Mischungsverteilungen, Clusterverfahren) *Contents of the course Statistical and Machine Learning:* **Short Description** The course on Statistical and Machine Learning presents an introduction into the components and algorithms prevalent in statistical and machine learning. Modern techniques will be presented for gleaning information from data. Both supervised and unsupervised learning algorithms will be discussed. The presented techniques can be applied to a variety of classification and regression problems, both for one-dimensional input data (e.g., speech), two-dimensional (e.g., image) or symbolic input data (e.g., documents). **Contents** *Introduction to classification problems, Bayesian and other decision rules* Optimization: gradient descent, algorithmic differentiation, optimization with constraints *Linear classifiers, Support Vector Machines* Deep neural networks (deep learning) *Dimensionality reduction (PCA, LDA)* Unsupervised learning (mixture densities, clustering techniques)

5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch des Moduls in der Lage, • Für ein vorgegebenes Klassifikations- oder Regressionsproblem eine geeignete Lösungsmethode auszuwählen • Methoden des überwachten und unüberwachten Lernens auf neue Problemstellungen anzuwenden und die Ergebnisse des Lernens kritisch zu bewerten • grundlegendes Verständnis von maschinellen Lernverfahren zu haben • Programmbibliotheken zur Realisierung von Klassifikatoren (z.B. neuronale Netze, Support Vector Machines) sinnvoll anwenden und eigene Programme schreiben zu können • ür eine vorgegebene Trainingsdatenmenge einen sinnvolle Wahl für die Dimension des Merkmalsvektors und die Komplexität des Klassifikators zu treffen zu können. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • Haben Fertigkeiten in Python erworben, die sie auch außerhalb dieser Anwendungsdomäne einsetzen können • Haben ein Verständnis für das Prinzip der Parsimomität und können es auf andere Fragestellungen übertragen • Können ein vorgegebenes Klassifikations- oder Regressionsproblem analysieren, eine Lösung synthetisieren und sie anschließend an Testdaten evaluieren • Können die in diesem Kurse gewonnenen Kenntnisse und Fertigkeiten auf andere Disziplinen übertragen • Können in einer Gruppe umfangreichere Aufgabenstellungen gemeinsam analysieren, in Teilaufgaben zerlegen und lösungsorientiert bearbeiten • Können die Leistungsfähigkeit, aber auch die Grenzen von maschinellen Lernverfahren bewerten

Domain competence:
After completion of the module students will be able to

- Find an appropriate approach to solving a given classification or regression problem
- Apply supervised or unsupervised learning techniques to data of various kinds and critically assess the outcome of the learning algorithms
- Can appreciate the power and limitations of machine learning algorithms
- Work with software for solving machine learning problems and write own software components, apply them to given data sets and optimize parameter settings
- Find, for a given training set size, an appropriate choice of classifier complexity und feature vector dimensionality

Key qualifications:
The students

- Have gathered sufficient proficiency in Python, which is valuable well beyond this course
- Can assess the importance of the principle of parsimony and are able to transfer it to other
- Are able to analyse a given classification or regression problem, synthesize a solution, and evaluate the performance on test data
- Are able to apply the knowledge and skills learnt in this course to a wide range of disciplines
- Can work cooperatively in a team and subdivide an overall task into manageable subtasks and work packages
- Acquired a general understanding of the power and limitations of machine learning algorithms

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Mohammad Soleymani
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Statistical and Machine Learning:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/statistische-und-maschinelle-lernverfahre` **Methodische Umsetzung** *Vorlesungen mit überwiegendem Tafeleinsatz, vereinzelt Folien-Präsentation* Präsenzübungen mit Übungsblättern und Demonstrationen am Rechner *Praktische Übungen mit Python, in denen Studierende eigenständig Trainings- und Testdaten generieren, Lösungswege erarbeiten und Lernverfahren oder Klassifikatoren implementieren, testen, sowie Ergebnisse auswerten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines ausführlichen Skripts und stichwortartiger Zusammenfassungsfolien für jede Vorlesung. Lösungen der Übungsaufgaben und Beispielimplementierungen von Algorithmen werden zur Verfügung gestellt. *R.O. Duda, P.E. Hart, D.G.~ Stork, Pattern Classification, Wiley, 2001* I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: Deep Learning, MIT Press, 2016 *S. Theodoridis: Machine Learning, Academic Press, 2015* K. Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press, 1990

	Remarks of course Statistical and Machine Learning: **Course Homepage** `https://ei.uni-paderborn.de/en/statistical-and-machine-learning` **Implementation** *Lectures predominantly using the blackboard or overhead projector, occasional presentations of (powerpoint) slides ,* Exercise classes with exercise sheets and demonstrations on computer *Implementation of learning and classification algorithms on a computer by the students themselves; use of algorithms on real-world data or data generated on the computer, evaluation of the simulation results **Teaching Material, Literature** Course script and summary slides are provided to the students. Exercises and solutions to exercises, as well as sample implementations of algorithms are provided to the students *R.O. Duda, P.E. Hart, D.G.~ Stork, Pattern Classification, Wiley, 2001* I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville: Deep Learning, MIT Press, 2016 *S. Theodoridis: Machine Learning, Academic Press, 2015* K. Fukunaga, Introduction to Statistical Pattern Recognition, Academic Press, 1990

Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel			
Cognitive Systems Engineering - Special Topics			
Modulnummer / Module number: M.048.23019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.23019 Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.23019 Cognitive Systems Engineering - Special Topics	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

zwei aus drei Themenbereichen, siehe Punkt 4

two out of three topics, see point 4

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:
Empfohlen: Interesse am Seminarthema und interdisziplinärer Arbeit.

None

Prerequisites of course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:
Recommended: Interest in the subject-matter and interdisciplinary work.

4	**Inhalte / Contents:** Das Modul wird in drei Teilen angeboten. Es sind **zwei aus drei** Teilen zu wählen. Jeder Teil hat einen Umfang von 2 SWS . *Inhalte der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* **Teil A** Auf die Sinnesorgane von Lebewesen treffen zu jedem Zeitpunkt eine sehr große Menge von Informationen ein, von denen nur ein kleiner Anteil bewusst verarbeitet werden kann. Unter visueller Aufmerksamkeit wird die Bündelung der verfügbaren kognitiven Ressourcen zur optimalen Verarbeitung visueller Stimuli verstanden. Das Seminar führt in die Modellierung und experimentelle Erforschung von visueller Aufmerksamkeit und die Übertragung auf intelligente technische Systeme ein. Hierbei wird gezeigt, wie über die Grenzen von Disziplinen hinweg, gemeinsam geforscht werden kann. Der Schwerpunkt liegt aktuell auf dem Thema Salienz. Die Veranstaltung findet immer im Wintersemester statt. **Teil B** Während unter “Sensation” die Signale aus der physikalischen Welt beschreiben, die unsere Sinnesrezeptoren erreichen, werden unter “Perzeption” die Prozesse verstanden, mit denen unser Gehirn die Signale auswählt, organisiert und interpretiert. Das Seminar vermittelt Studierenden technischer Studiengänge einen Überblick über die Grundlagen biologischer Sensorik und Wahrnehmung. Neben den spannenden und (teils nicht intiuitiven) Hintergründen dieser Themen findet eine kritische Diskussion der Übertragbarkeit der biologischen Konzepte und Mechanismen auf technische Systeme statt. Dieses Seminar liegt immer im Sommersemester. **Teil C** In diesem Seminar werden aktuelle Zwischenberichte und Ergebnisse aus laufenden Bachelor- und Masterarbeiten, Forschungsvorhaben und Drittmittelprojekten aus dem Fachgebiet GETLab - Technische Kognitive Systeme vorgestellt. Weiterhin finden Vorträge von Gästen der Arbeitsgruppe statt. Das Seminar wird im Sommer- und im Wintersemester angeboten. This module is offered in three parts. Students have to choose **two out of three**. Each part lasts two hours per week. *Contents of the course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* **Part A** At any given time, the sensory receptors of living beings are exposed to a very large amount of information, of which only a small proportion can be consciously processed. Visual attention is understood as the pooling of available cognitive resources for optimal processing of visual stimuli. The seminar introduces the modeling and experimental investigation of visual attention and the transfer to intelligent technical systems. It will be shown how research can be conducted jointly across disciplinary boundaries. The current focus is on the topic of saliency. The course always takes place in the winter semester. **Part B** While “sensation” describes the signals from the physical world that reach our sensory receptors, “perception” refers to the processes by which our brain selects, organizes, and interprets the signals. This seminar provides students in technical courses with an overview of the fundamentals of biological sensory systems and perception. In addition to the exciting and (sometimes non-intuitive) background of these topics, there will be a critical discussion of the transferability of biological concepts and mechanisms to technical systems. This seminar is always in the summer semester. **Part C** In this seminar, current interim reports and results from ongoing bachelor’s and master’s theses, research projects, and third-party funded projects from the GETLab - Technical Cognitive Systems department will be presented. Furthermore, there will be presentations by guests of the research group. The seminar is offered in the summer and winter semester.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden

- können grundlegende Fragestellungen für den Entwurf und die Implementierung von technischen kognitiven Systemen benennen,
- sind in der Lage, technische kognitive Systeme zu verwenden und zu evaluieren und
- können einfache psychophysikalische Experimente interpretieren, entwerfen, durchführen und auswerten.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- sind in der Lage Fachliteratur zu recherchieren,
- haben ein Verständnis für die fachspezifischen Forschungsansätze (Elektrotechnik / Informatik / Psychologie) entwickelt und
- haben ein kritisches Verständnis darüber, inwiefern die Nachahmung biologischer kognitiver Prozesse in technischen Systemen sinnvoll ist.

Domain competence:
The students

- are able to name basic research topics related to the design and the implementation of technical cognitive systems,
- can apply and evaluate technical cognitive systems, and
- are able to understand, design, implement and evaluate basic psychophysical experiments.

Key qualifications:
The students

- are able to research and evaluate technical literature,
- have developed an understanding of the discipline-related research approaches (computer science, electrical engineering, psychology) and
- are able to carefully consider the potential use of bio-inspired mechanisms in technical systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bärbel Mertsching

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modul Homepage** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/cse] **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise erfolgen an den ersten Terminen des Seminars. *Hinweise der Lehrveranstaltung Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Module Homepage** [http://getwww.uni-paderborn.de/teaching/cse] **Teaching Material, Literature** Literature references will be given at the first dates of the seminar. *Remarks of course Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel:* --- **ATTENTION - IMPORTANT NOTICE** The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group. ---

3.3 ET-Katalog Kommunikationstechnik

Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik

Selected Topics in Theoretical Electrical Engineering

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.24023	180	6	Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
de	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.24023 Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik	2V 2Ü, WS+SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24023 Selected Topics of Theoretical Electrical Engineering	2L 2Ex, WS+SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus dem Pflichtmodul Theoretische Elektrotechnik.

None

Prerequisites of course Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik:
Recommended: Basic knowledge from the compulsory module Theoretical Electrical Engineering

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik erweitert und vertieft das in der Pflichtveranstaltung Theoretische Elektrotechnik erworbene Wissen über die elektromagnetische Wellenausbreitung im Freiraum und auf Wellenleitern um ausgewählte Themengebiete. Aufbauend auf der Theorie längshomogener Wellenleiter werden die Systembeschreibung mittels Streuparameter sowie die Mode-Matching-Methode praktisch motiviert und wellentheoretisch behandelt. Ein weiterer thematischer Schwerpunkt bildet die Greensche-Methode zur mathematischen Lösung von Randwertproblemen, die ausführlich hergeleitet und auf elektromagnetische Feldprobleme angewandt wird.
Inhalt Die Vorlesung Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik gliedert sich wie folgt:

- Theorie der Eigenwellen und deren Anwendung in der Streuparametertheorie
  - Ez-Hz-Feldansatz für längshomogene Wellenleiterstrukturen
  - Systembeschreibung mittels Streumatrizen
  - Grundlagen der Mode-Matching-Methode
- Die Greensche Methode in der elektromagnetischen Feldtheorie
  - Greensche Funktionen und deren Bestimmung
  - Die Aperturfeldmethode in der Antennentheorie
  - Lösung physikalischer Feldprobleme mittels Greenscher Funktionen

Contents of the course Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik:
Short Description
The course Selected Topics of Theoretical Electrical Engineering extends and deepens the knowledge of electromagnetic wave propagation in free space and on waveguides acquired in the compulsory course Theoretical Electrical Engineering by selected topics. Based on the theory of longitudinally homogeneous waveguides, the system description by means of scattering parameters as well as the mode-matching method are practically motivated and treated in terms of wave theory. Another thematic focus is the Green's method for the mathematical solution of boundary value problems, which is derived in detail and applied to electromagnetic field problems.
Contents
The lecture Selected Topics of Theoretical Electrical Engineering is organized as follows:

- Theory of eigenwaves and its application in scattering parameter theory.
  - Ez-Hz field approach for longitudinal homogeneous waveguide structures
  - System description by means of scattering matrices
  - Basics of the mode-matching method
- Green's method in electromagnetic field theory
  - Green's functions and their determination
  - The aperture field method in antenna theory
  - Solution of physical field problems by means of Green's functions

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studenten sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- komplexere zeitharmonische elektromagnetische Feldprobleme mathematisch zu formulieren (Modellbildung, Analysieren)
- eine geeignete analytische Lösungsmethode zu identifizieren, anzuwenden und zu überprüfen (Anwenden, Synthetisieren, Evaluieren)
- die gewonnenen Ergebnisse zu veranschaulichen und physikalisch zu bewerten (Evaluieren)

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studenten

- lernen, die erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen,
- erweitern ihre Kooperations- und Teamfähigkeit sowie Präsentationskompetenz bei der Bearbeitung von Übungen
- erlernen Strategien zum Wissenserwerb durch Literaturstudium und Internetnutzung,
- erwerben eine fachbezogene Fremdsprachenkompetenz

Domain competence:
After attending the course, the student will be able to

- mathematically model simple physical field problems
- transfer, apply, validate numerical methods on physical problems
- to physically interpret and visualise the obtained results

Key qualifications:
The students

- learn to transfer the acquired skills also to other disciplines
- extend their cooperation and team capabilities as well as the presentation skills in the context of solving the exercises
- learn strategies to acquire knowledge from literature and internet

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Denis Sievers
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://www.tet.upb.de` **Methodische Umsetzung** Die theoretischen Konzepte werden in der Form einer Vorlesung präsentiert, die daneben aber auch einen großen Anteil an Feldvisualisierungen enthält. In den Übungen wird die Theorie anhand von einfachen Fragestellungen und Rechenbeispielen vertieft, die während der Präsenzübungen selbstständig gelöst werden. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien und Tafelanschrieb, weitere Literaturempfehlungen werden in der Vorlesung bekannt gegeben.

	Remarks of course Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik: **Course Homepage** `http://www.tet.upb.de` **Implementation** The theoretical concepts are presented in the form of a lecture, which also includes a large proportion of field visualizations. In the exercises, the theory is deepened by means of simple questions and calculation examples, which are solved independently during the presence exercises. **Teaching Material, Literature** Lecture slides and blackboard notes, additional recommended reading will be announced in lecture.

Digitale Sprachsignalverarbeitung			
Digital Speech Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.24001	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.24001 Digitale Sprachsignalverarbeitung	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24001 Digital Speech Signal Processing	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus dem Modul Höhere Mathematik.

None

Prerequisites of course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Recommended: Prior knowledge from the module Higher Mathematics.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur digitalen Sprachsignalverarbeitung ein. Schwerpunkt des ersten Teils der Vorlesung liegt im Themengebiet „Hören und Sprechen“, welches sich mit psychologischen Effekten der Geräuschwahrnehmung und der Spracherzeugung beschäftigt. Anschließend werden zeitdiskrete Signale und Systeme, sowie deren rechnergestützte Verarbeitung besprochen. Die nichtparametrische Kurzeitanalyse von Sprachsignalen, die Sprachcodierung und die IP-Telefonie sind weitere Themen.
Inhalt

- Sprechen und Hören
  - Spracherzeugung: menschliche Sprechorgane, Lautklassen, Quelle-Filter-Modell, Vocoder
  - Grundlagen Schallwellen
  - Hören: menschliches Hörorgan, Psychoakustik und Physiologie des Hörens, Lautheit, Verdeckung, Frequenzgruppen
- Zeitdiskrete Signale und Systeme
  - Grundlagen: Elementare Signale, LTI-Systeme
  - Transformationen: Fouriertransformation zeitdiskreter Signale, DFT, FFT
  - Realisierung zeitdiskreter Filterung im Frequenzbereich: Overlap-Add, Overlap-Save
- Statistische Sprachsignalanalyse
  - Grundlagen Wahrscheinlichkeitsrechnung
  - Kurzzeitanalyse von Sprachsignalen: Spektrogramm, Cepstrum
- Schätzung von Sprachsignalen
  - Optimale Filterung
  - LPC-Analyse
  - Spektrale Filterung zur Rauschunterdrückung
  - Adaptive Filterung: LMS Adaptionsalgorithmus, Echokompensation
- Sprachcodierung
  - Signalformcodierung, parametrische Codierung, hybride Codierverfahren
  - Codierung im Frequenzbereich
  - Amplitudenquantisierung: gleichförmige Quantisierung, Quantisierung mit Kompandierung (ulaw, alaw)

Contents of the course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Short Description
The course introduces the basic techniques and theories of digital speech signal processing. A focal point of the first part of the lecture is the topic “Listening and Speaking”, which is concerned with psychological effects of human sound perception and speech production. Subsequently, time discrete signals and systems, as well as computer based data processing are discussed. Further topics are non-parametric short-time analysis of speech signals, speech coding and IP-phones.
Contents

- Listen and talk
  - Generating voice: human vocal tract, source filter model, vocoder
  - Acoustic waves
  - Listen: human ear, psycho acoustics and physiology of listening, loudness, acoustic occlusion, frequency groups
- Time-discrete signals and systems
  - Basics: Elementary signals, LTI systems
  - Transformations: Fourier transformation of time-discrete signals, DFT, FFT
  - Time-discrete filtering in frequency domain: Overlap-Add, overlap-Save
- Statistical speech signal analysis
  - Basics in theory of probabilities
  - Short-run analysis of speech signals: Spectrogram, cepstrum
- Estimation of speech signals
  - Optimal filters
  - LPC analysis
  - Spectral filtering for noise suppression: spectral subtraction, Wiener filter
  - Adaptive Filters: LMS adaptation algorithm, echo compensation
- Speech coding
  - Time domain coding: signal shape coding, parametric coding, hybride coding techniques
  - Frequency domain coding
  - Amplitude quantization: uniform quantization, quantization with companders (ulaw, alaw)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Digitale Signale, speziell Audiosignale, im Zeit- und Frequenzbereich zu analysieren,
- Sprachsignale effizient zu repräsentieren und
- Weit verbreitete Algorithmen zur Sprachsignalanalyse und Verarbeitung im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können Effekte in echten Signalen durch theoretisches Wissen erklären,
- können theoretische Ansätze durch systematische Betrachtung untersuchen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze digital signals, e.g., audio signals, in the time or frequency domain,
- represent audio signals efficiently and
- implement widely-used algorithms for speech analysis and speech processing in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to explain effects in real signals based on the theoretical knowledge,
- are able to investigate theoretical approaches by a systematic analysis and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Digitale Sprachsignalverarbeitung:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/digitale-sprachsignalverarbeitung` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von echten Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

Remarks of course Digitale Sprachsignalverarbeitung:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/digital-speech-signal-processing`
Implementation

- Lectures using the blackboard and presentations,
- Alternating theoretical and practical exercise classes with exercise sheets and computer and
- Demonstration of real technical systems in the lecture hall.

Teaching Material, Literature
Allocation of a script; information on textbooks ; matlab scripts

Elektromagnetische Feldsimulation			
Simulation of Electromagnetic Fields			
Modulnummer / Module number: M.048.24006	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.24006 Elektromagnetische Feldsimulation	2V 2Ü, WS+SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24006 Simulation of Electromagnetic Fields	2L 2Ex, WS+SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Elektromagnetische Feldsimulation:
Empfohlen: Fundierte Kenntnisse aus dem Bereich der elektromagnetischen Feldtheorie, die in den Modulen “Feldtheorie”, “Elektromagnetische Wellen” und “Theoretische Elektrotechnik” vermittelt werden.

None

Prerequisites of course Elektromagnetische Feldsimulation:
Recommended: In-depth knowledge of electromagnetic field theory taught in the modules “Field Theory”, “Electromagnetic Waves” and “Theoretical Electrical Engineering”.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Elektromagnetische Feldsimulation:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung Elektromagnetische Feldsimulation bietet eine Einführung in moderne Simulationsverfahren für elektromagnetische Feldprobleme. Im Mittelpunkt steht mit der Methode der Finiten Integration (FIT) ein moderner, sehr effizienter und erfolgreicher Ansatz aus der Klasse der gitterbasierten Verfahren. Es können Feldprobleme der Statik, Quasistatik und schnellveränderliche Felder (elektromagnetische Wellen) bei nahezu beliebiger Materialverteilung behandelt werden. Die Modellierung mit FIT führt dabei auf algebraische Matrizengleichungen, deren Lösung ebenfalls einführend besprochen wird. Außerdem kommen einige verwandte Verfahren wie Finite Differenzen und Finite Elemente zur Sprache. Ziel der Lehrveranstaltung ist u.a., die Möglichkeit und Grenzen der besprochenen Verfahren im praktischen Einsatz kennen zu lernen und einschätzen zu können. Außerdem wird das Fundament für eine Weiterentwicklung der Algorithmen im Rahmen wissenschaftlicher Projekte gelegt. **Inhalt** wie folgt • Einführung • Motivation • Klassifizierung von Lösungsmethoden • Numerische Ansätze • Grundlagen der Methode der finiten Integration • Gitter-Maxwellgleichungen • Eigenschaften der Diskretisierungsmatrizen • Randbedingungen • Lösung elektromagnetischer Feldprobleme • Statische Felder • Zeitveränderliche Felder • Zeitharmonische Felder (Frequenzbereich) • Transiente Felder (Zeitbereich)

Contents of the course Elektromagnetische Feldsimulation:
Short description
The course Electromagnetic Field Simulation offers an introduction to modern simulation methods for electromagnetic field problems. The focus is on the method Finite Integration (FIT), a modern, very efficient and successful approach from the class of grid-based methods. Field problems of statics, quasistatics and fast-varying fields (electromagnetic waves) with almost arbitrary material distribution can be treated. The modeling with FIT leads to algebraic matrix equations, whose solution is also discussed in an introductory way. In addition, some related methods such as finite differences and finite elements will be discussed. One of the aims of the course is to get to know and to be able to assess the possibilities and limitations of the discussed methods in practical use. In addition, the foundation is laid for further development of the algorithms in the context of scientific projects.
Contents
as follows

- Introduction
- Motivation
- Classification of solution methods
- Numerical approaches
- Fundamentals of the finite integration method
- Lattice Maxwell equations
- Properties of discretization matrices
- Boundary conditions
- Solution of electromagnetic field problems
- Static fields
- Time-varying fields
- Time-harmonic fields (frequency domain)
- Transient fields (time domain)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- komplexe elektromagnetische Feldprobleme mathematisch zu formulieren (Modellbildung, Analysieren)
- die Fnite Integrations Methode auf physikalische Probleme zu übertragen, anzuwenden und zu prüfen (Anwenden, Synthetisieren, Evaluieren)
- numerisch gewonnene Ergebnisse zu visualisieren und physikalisch zu deuten (Evaluieren)

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- lernen, die erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen,
- erweitern ihre Kooperations- und Teamfähigkeit sowie Präsentationskompetenz bei der Bearbeitung von Übungen
- erlernen Strategien zum Wissenserwerb durch Literaturstudium und Internetnutzung,
- erwerben eine fachbezogene Fremdsprachenkompetenz

Specialized competence:
After attending the course, students will be able to,

- formulate complex electromagnetic field problems mathematically (modeling, analyzing)
- to apply the Fnite integration method to physical problems (apply, synthesize, evaluate)
- visualize numerically obtained results and interpret them physically (Evaluate).

Cross-disciplinary competencies:
The students

- learn to apply the acquired knowledge and skills across disciplines,
- expand their cooperation and teamwork skills as well as presentation skills when working on exercises
- learn strategies for acquiring knowledge by studying literature and using the Internet,
- acquire a subject-related foreign language competence

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Denis Sievers
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Elektromagnetische Feldsimulation:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://www.tet.upb.de` **Methodische Umsetzung** Die theoretischen Konzepte werden in der Form einer Vorlesung präsentiert, in der zugehörigen programmierpraktischen Übung werden für einfache Problemstellungen der Simulationstechnik kleine Matlab-Programme erstellt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien und Tafelanschrieb

	Remarks of course Elektromagnetische Feldsimulation: **Course Homepage** `http://www.tet.upb.de` **Implementation** The theoretical concepts are presented in the form of a lecture, and in the associated practical programming exercise, small Matlab programs are created for simple problems in simulation technology. **Teaching Material, Literature** Lecture slides and blackboard notes

Feldberechnung mit der Randelementmethode

Field Computation Using Boundary Element Method

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.24013	180	6	Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
de	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.24013 Feldberechnung mit der Randelementmethode	2V 2Ü, WS+SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24013 Field Computation Using Boundary Element Method	2L 2Ex, WS+SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Feldberechnung mit der Randelementmethode:
Empfohlen: Fundierte Kenntnisse aus dem Bereich der elektromagnetischen Feldtheorie, die in den Modulen “Feldtheorie”, “Elektromagnetische Wellen” und “Theoretische Elektrotechnik” vermittelt werden.

None

Prerequisites of course Feldberechnung mit der Randelementmethode:
Recommended: In-depth knowledge of electromagnetic field theory taught in the modules “Field Theory”, “Electromagnetic Waves” and “Theoretical Electrical Engineering”.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Feldberechnung mit der Randelementmethode:* **Kurzbeschreibung** Im Mittelpunkt der Lehrveranstaltung Feldberechnung mit der Randelementmethode steht ein Diskretisierungsverfahren, das bevorzugt in der Antennentechnik zur Lösung von Abstrahlungsproblemen sowie in der Radartechnik zur Analyse von Streuobjekten eingesetzt wird. Aus den numerisch ermittelten Ergebnissen sind schließlich wichtige Kenngrößen wie beispielsweise die Richtcharakteristik von Antennen oder der Rückstreuquerschnitt von Radarzielen ableitbar. Ziel der Vorlesung ist die Vermittlung des theoretischen Grundwissens über die Randelementmethode unter Berücksichtigung anwendungsbezogener Aspekte, wobei das Hauptaugenmerk auf den Einsatz in der Ingenieurspraxis gerichtet ist. **Inhalt** Die Vorlesung Feldberechnung mit der Randelementmethode gliedert sich wie folgt: 1. Einführung (Motivation, Mathematische Grundlagen) 2. Integralgleichungsmethode (Darstellungsformeln für elektromagnetische Felder, Oberflächenintegralgleichungen) 3. Mathematische Modellbildung (Formulierung von Antennen-, Streu- und Eigenwertproblemen, Anregungsformen, Berechnung von Rückstreuquerschnitten und Antennenparametern) 4. Diskretisierung mittels Momentenmethode (Prinzip von Projektionsverfahren, Basisfunktionen) 5. Berechnung der Matrixbeiträge (Numerische Integration, Behandlung singulärer Integrale) 6. Aspekte bei der Lösung des diskreten Modellproblems (Lösungsstrategien, Matrixkompressionsverfahren) *Contents of the course Feldberechnung mit der Randelementmethode:* **Short description** The course Field Calculation with the Boundary Element Method focuses on a discretization method which is preferably used in antenna technology for the solution of radiation problems as well as in radar technology for the analysis of scattering objects. From the numerically determined results, important parameters such as the directivity of antennas or the backscatter cross section of radar targets can be derived. The aim of the lecture is to impart the theoretical basic knowledge about the boundary element method under consideration of application-related aspects, with the main focus on the use in engineering practice. **Content The lecture Field Calculation with the Boundary Element Method is structured as follows: 1. introduction (motivation, mathematical basics) 2. integral equation method (representation formulas for electromagnetic fields, surface integral equations) 3. mathematical modeling (formulation of antenna, scattering and eigenvalue problems, excitation modes, calculation of backscattering cross sections and antenna parameters) 4. discretization by means of the method of moments (principle of projection methods, basis functions) 5. calculation of matrix contributions (numerical integration, treatment of singular integrals) 6. aspects of solving the discrete model problem (solution strategies, matrix compression methods)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- komplexe elektromagnetische Feldprobleme mathematisch zu formulieren (Modellbildung, Analysieren)
- die Randelementmethode auf physikalische Probleme zu übertragen, anzuwenden und zu prüfen (Anwenden, Synthetisieren, Evaluieren)
- numerisch gewonnene Ergebnisse zu visualisieren und physikalisch zu deuten (Evaluieren)

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- lernen, die erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen,
- erweitern ihre Kooperations- und Teamfähigkeit sowie Präsentationskompetenz bei der Bearbeitung von Übungen
- erlernen Strategien zum Wissenserwerb durch Literaturstudium und Internetnutzung,
- erwerben eine fachbezogene Fremdsprachenkompetenz

Specialized competence:
After attending the course, students will be able to,

- formulate complex electromagnetic field problems mathematically (modeling, analyzing)
- transfer, apply and test the boundary element method to physical problems (apply, synthesize, evaluate)
- visualize numerically obtained results and interpret them physically (Evaluate).

Cross-disciplinary competencies:
The students

- learn to apply the acquired knowledge and skills across disciplines,
- expand their cooperation and teamwork skills as well as presentation skills when working on exercises
- learn strategies for acquiring knowledge by studying literature and using the Internet,
- acquire a subject-related foreign language competence

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Denis Sievers
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Feldberechnung mit der Randelementmethode:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://tet.upb.de/` **Methodische Umsetzung** Die theoretischen Konzepte werden in der Form einer Vorlesung präsentiert, die von einer programmierpraktischen Übung begleitet wird, in welcher die vorgestellten Algorithmen auf einem Computer umgesetzt und anhand einfacher Praxisbeispiele erprobt werden. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien und Tafelanschrieb, weitere Literaturempfehlungen werden in der Vorlesung bekannt gegeben.

	Remarks of course Feldberechnung mit der Randelementmethode: **Course Homepage** `http://tet.upb.de/` **Implementation** The theoretical concepts will be presented in the form of a lecture accompanied by a practical programming exercise in which the algorithms presented will be implemented on a computer and tested using simple practical examples. **Teaching Material, Literature** Lecture slides and blackboard notes, additional recommended reading will be announced in lecture.

Hochfrequenztechnik			
High Frequency Engineering			
Modulnummer / Module number: M.048.24007	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24007 Hochfrequenztechnik	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24007 High-Frequency Engineering	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Hochfrequenztechnik:
Keine

None

Prerequisites of course Hochfrequenztechnik:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Hochfrequenztechnik:* **Kurzbeschreibung** Diese Vorlesung vermittelt anwendungsorientierte Kenntnisse in der Hochfrequenztechnik. Ferner werden Kenntnisse über aktive und passive Hochfrequenzschaltungen vermittelt. **Inhalt** Die Veranstaltung Hochfrequenztechnik (4 SWS, 6 Leistungspunkte) erweitert das in der Veranstaltung Theoretische Elektrotechnik erworbene Wissen um weitere anwendungsrelevante Anteile. Ziel ist es, die Hörer für Entwicklungsarbeiten z.B. im hochfrequenten Teil eines Mobiltelefons zu befähigen. Gesichtspunkte der Hochfrequenztechnik sind aber auch schon in gängigen Digitalschaltungen zu berücksichtigen. Die Schwerpunkte der Veranstaltung sind passive Baugruppen, Hochfrequenzeigenschaften der Transistorgrundschaltungen, lineare und nichtlineare Verstärker, rauschende Mehrtore, Mischer, Oszillatoren, Synchronisation und Phasenregelschleife. *Contents of the course Hochfrequenztechnik:* **Short Description** This lecture gives application-oriented knowledge in high frequency engineering. Furthermore, it gives knowledge in active and passive high-frequency circuits. **Contents** The lecture High-Frequency Engineering (4 SWS, 6 ECTS credit points) extends the content of the lecture Theoretische Elektrotechnik by further application-relevant knowledge. The aim is to qualify the students for development tasks for example in the radio frequency part of a mobile telephone. But considerations of high-frequency engineering are also needed in prevalent digital circuits. The emphases of the lecture are passive devices, high-frequency properties of fundamental transistor circuits, linear and nonlinear amplifiers, noisy multiports, mixers, oscillators, injection-locking and phase-locked loop
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachliche Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang die Funktionsweise von Komponenten, Schaltungen und Systemen der Hochfrequenztechnik zu verstehen, diese zu modellieren und anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden **Professional Competence After attending the course, the students will be able, in the taught extent, to understand the function of components, circuits and systems of high-frequency engineering, to model and to apply them. **Key qualifications:** The students • are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines, • are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and • are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Reinhold Noé

13 **Sonstige Hinweise** / **Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Hochfrequenztechnik:

ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS
Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet.

Lehrveranstaltungsseite
`http://ont.upb.de`
Methodische Umsetzung
Vorlesung und Übung
Lernmaterialien, Literaturangaben
Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug):

- Thiede, A.: Skriptum Hochfrequenzelektronik/High-Frequency Electronics, Universität Paderborn
- Sze, S. M.: High Speed Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1990
- Herbst, L. J.: Integrated Circuit Engineering, Oxford University Press, 1996
- Yip, P. C. L.: High-Frequency Circuit Design and Measurement, Chapman & Hall, 1996
- Gonzalez, G.: Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall, 1997
- Hoffmann, M.: Hochfrequenztechnik, Springer, 1997

Remarks of course Hochfrequenztechnik:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Implementation
Lecture and exercise
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Thiede, A.: Skriptum Hochfrequenzelektronik/High-Frequency Electronics, Universität Paderborn
- Sze, S. M.: High Speed Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, 1990
- Herbst, L. J.: Integrated Circuit Engineering, Oxford University Press, 1996
- Yip, P. C. L.: High-Frequency Circuit Design and Measurement, Chapman & Hall, 1996
- Gonzalez, G.: Microwave Transistor Amplifiers, Prentice Hall, 1997
- Hoffmann, M.: Hochfrequenztechnik, Springer, 1997

Information Theory			
Information Theory			
Modulnummer / Module number: M.048.24021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 2.-4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.24021 Information Theory	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.24021 Information Theory	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Information Theory:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

None

Prerequisites of course Information Theory:
**Recommended:*
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Information Theory:* Informationstheorie ist die mathematische Grundlage moderner Kommunikation, Datenkompression und statistischer Inferenz. Ursprünglich von Claude Shannon entwickelt, quantifiziert sie Information, Unsicherheit und die fundamentalen Grenzen der Datenübertragung und -speicherung. Diese Lehrveranstaltung bietet eine fundierte Einführung in die Informationstheorie. Die Studierenden lernen zentralen Konzepte wie Entropie, Transinformation, relativen Entropie und typische Sequenzen und verstehen deren operationale Bedeutung in Kompressions- und Kommunikationssystemen. Die Veranstaltung behandelt verlustfreie und verlustbehaftete Quellenkodierung, Kanalkapazität sowie die fundamentalen Grenzen zuverlässiger Kommunikation über verrauschte Kanäle. Klassische Resultate wie das Quellenkodierungstheorem und das Kanalkodierungstheorem von Shannon werden hergeleitet. Großer Wert wird auf ein intuitives Verständnis der mathematischen Konzepte sowie auf die praktische Interpretation dieser Resultate im Kontext realer Systeme gelegt. Über Kommunikationssysteme hinaus beleuchtet die Lehrveranstaltung Verbindungen zu maschinellem Lernen, Statistik, Signalverarbeitung und vernetzten Systemen. *Contents of the course Information Theory:* Information theory is the mathematical foundation of modern communication, data compression, and statistical inference. Originally developed by Claude Shannon, information theory quantifies information, uncertainty, and the fundamental limits of data transmission and storage. This course provides a first rigorous introduction to information theory. Students will learn the core concepts of entropy, mutual information, relative entropy, and typicality, and understand their operational meaning in compression and communication systems. The course covers lossless and lossy source coding, channel capacity, and the fundamental limits of reliable communication over noisy channels. Classical results such as Shannon's source coding theorem and channel coding theorem are derived from first principles. Strong emphasis will be placed on an intuitive understanding of mathematical concepts and the practical interpretation of these results in the context of real-world systems. Beyond communication systems, the course highlights connections to machine learning, statistics, signal processing, and networked systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • die grundlegenden Problemstellungen, Modelle, Werkzeuge und Ergebnisse der Shannonschen Informationstheorie und ihre Einschränkungen zu erklären; • Informationsmaße und informationstheoretische Kenngrößen auf kommunikationstechnische Problemstellungen anzuwenden und ihre operationelle Bedeutung zu erläutern; • Zusammenhänge zwischen abstrakten kommunikationstheoretischen Modellen und realistischen physikalischen Systemen zu erklären und gezielt im Systementwurf einzusetzen; • wissenschaftliche Literatur im Bereich der Informationstheorie zu verstehen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können komplexe Problemstellung abstrahieren und in lösbare Teilprobleme zerlegen; • können Mathematik als universelle Beschreibungssprache der physikalischen Welt verstehen und anwenden; • können informationstheoretische Konzepte und Ergebnisse auf Fragestellungen außerhalb der Nachrichtentechnik übertragen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- explain fundamental questions, models, tools, and results of Shannon's information theory;
- apply information-theoretic measures to assess the quality processing blocks of communication systems and explain the operational meaning;
- explain the relationship between abstract communication-theoretic models and realistic physical systems and apply them purposefully in system design;
- understand scientific documents in information theory.

Key qualifications:
The students

- can abstract complex problems and decompose them into solvable subproblems;
- are able to understand and apply mathematics as a universal language for describing the physical world;
- can transfer information-theoretic concepts and results to problems beyond the field of communications engineering.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4, Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optical Waveguide Theory			
Optical Waveguide Theory			
Modulnummer / Module number: M.048.24019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24019 Optical Waveguide Theory	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24019 Optical Waveguide Theory	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Waveguide Theory:
Empfohlen: Grundlagen der Elektrodynamik (auf Niveau des Kurses “Elektromagnetische Wellen”), Mathematische Grundlagen (Bachelor Niveau).

None

Prerequisites of course Optical Waveguide Theory:
Recommended: Bachelor-level knowledge in electrodynamics and mathematics as taught in the course Fields&Waves.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Waveguide Theory:* **Kurzbeschreibung** Dielektrische optische Wellenleiter sind Schlüsselelemente heutiger integrierter optischer/photonischer Schaltkreise. Dieser Kurs bietet eine Einführung zur theoretischen Behandlung und eine Grundlage für weitergehende Modellierung, Simulation und Design von Wellenleitern. **Inhalt** • Photonik, integrierte Optik, dielektrische Wellenleiter: Beispiele, Motivation. • Kurze Wiederholung der benötigten mathematischen Hilfsmittel. • Maxwellgleichung in verschiedenen Formulierungen, Klassen von Problemen. • Normale Moden in dielektrischen optischen Wellenleitern, Orthogonalität, Vollständigkeit, Streumatrizen, reziproke Schaltkreise. • Beispiele für dielektrische optische Wellenleiter (Mehrschichtsysteme, integriert-opitische Kanäle, Glasfasern), gebogene Wellenleiter, Whispering-Gallery Moden. • Coupled mode theory in konventioneller kodirektionaler, und hybrid analytischer/numerischer Variante, Störungstheorie für optische Wellenleiter. • Optional: Behandlung von Randbedingungen, Anfangsbedingungen (Strahlpropagations-Methode), Wellenleiter-Diskontinuitäten (BEP/QUEP Simulationen), Photonische-Kristall-Wellenleiter und -Fasern, plasmonische Wellenleiter. *Contents of the course Optical Waveguide Theory:* **Short Description** Dielectric optical waveguides constitute key-elements of present-day integrated optical / photonic circuits. This course provides an introduction to their theoretical background, and, as such, a sound basis for further, more specific, modelling, simulation, and design work, as well as for experimental activities in the field. **Contents** • Photonics / integrated optics, dielectric waveguides: introductory examples, motivation. • Brush up on mathematical tools. • Maxwell equations, survey of different formulations; classes of simulation tasks. • Normal modes of dielectric optical waveguides, orthogonality, completeness, scattering matrices, reciprocal circuits. • Examples for dielectric optical waveguides (multilayer slabs, integrated optical channels, fibers), bent waveguides, whispering gallery resonances. • Coupled mode theory, conventional codirectional, and hybrid analytical / numerical variant, perturbations of optical waveguides. • Optional, brief remarks on: boundary conditions, initial value problems (beam propagation method), waveguide discontinuities (BEP/QUEP simulations), photonic crystal waveguides & fibers, plasmonic waveguides.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Systeme der integrierten Optik und Photonik mathematisch zu formulieren (Modellbildung, Analysieren)
- analytische Lösungsmethoden und Näherungsverfahren zu identifizieren, anzuwenden und zu validieren (Anwenden, Synthetisieren, Evaluieren)
- die gewonnenen Ergebnisse zu veranschaulichen und physikalisch zu bewerten (Evaluieren)
- theoretische Modelle für Systeme der integrierten Optik und Photonik zu entwickeln und deren Gültigkeit zu validieren (Synthetisieren, Evaluieren)

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- lernen, die erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen (Elemente der Elektrotechnik, Physik und Mathematik werden angesprochen),
- erweitern ihre Kooperations- und Teamfähigkeit sowie Präsentationskompetenz bei der Bearbeitung von Übungsaufgaben und der Vorstellung und Diskussion ihrer eigenen Lösungen,
- erlernen Strategien zum Wissenserwerb durch Literaturstudium und Internetnutzung,
- erwerben weitere fachbezogene Fremdsprachenkompetenz.

Domain competence:
After attending the course, the student will be able to

- to mathematically model electromagnetic field problems of systems in integrated optics and photonics
- to identify, apply and verify appropriate analytical methods and approximation techniques
- to physically interpret and visualise the obtained results
- to extend, develop and validate theoretical models for integrated optics and photonics

Key qualifications:
The students

- learn to transfer the acquired skills also to other disciplines
- extend their cooperation and team capabilities as well as the presentation skills in the context of solving the exercises
- learn strategies to acquire knowledge from literature and internet
- acquire a specialised foreign language competence

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** PD Dr. Manfred Hammer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Waveguide Theory:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://ei.uni-paderborn.de/tet/` **Methodische Umsetzung** Die theoretischen Konzepte werden in der Form einer Vorlesung präsentiert; Übungen und Hausaufgaben vertiefen und ergänzen die Theorie.

	Remarks of course Optical Waveguide Theory: **CourseHomepage** `http://ei.uni-paderborn.de/tet/` **Implementation** The theoretical concepts will be presented as a lecture. The methods presented will be practiced in exercises classes and by means of homework assignments.

Optimale und Adaptive Filter			
Optimal and Adaptive Filters			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.24010	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
de / en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.24010 Optimale und Adaptive Filter	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.24010 Optimal and Adaptive Filters	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus den Modulen Höhere Mathematik und Digitale Signalverarbeitung.

None

Prerequisites of course Optimale und Adaptive Filter:
Recommended: Prior knowledge from the modules Higher Mathematics and Digital Signal Processing.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:
Kurzbeschreibung
Die Veranstaltung „Optimale und adaptive Filter“ führt in die grundlegenden Techniken und Theorien zur adaptiven Filterung ein. Aufbauend auf den Grundlagen der Schätztheorie werden zunächst optimale Filter diskutiert. Anschließend werden die Wiener Filter Theorie, die deterministische Optimierung unter Randbedingungen und die stochastischen Gradientenverfahren betrachtet. Abschließend werden der Least Squares Ansatz zur Lösung von Filteraufgaben und der Kalman Filter vorgestellt. Letzterer ist als Einführung in das Themengebiet der zustandsbasierten Filterung anzusehen.
Inhalt

- Klassische Parameterschätzung
  - Schätzung und Schätzer
  - MMSE-Schätzung
  - Lineare Schätzer
  - Orthogonalitätsprinzip
  - Bewertung der Güte von Schätzern
- Wiener Filterung
  - Wiener-Hopf Gleichung
  - AR- und MA-Prozesse
  - Lineare Prädiktion
- Iterative Optimierunsverfahren
  - Gradientenan/abstieg
  - Newton-Verfahren
- Lineare adaptive Filterung
  - LMS-Algorithmus
  - Least-Squares Methode
  - Blockweise und rekursive adaptive Filter
  - Realisierungsaspekte
- Zustandsmodellbasierte Filter
  - Kalman Filter
- Anwendungen
  - Systemidentifikation
  - Kanalschätzung und -entzerrung
  - Mehrkanalige Sprachsignalverarbeitung
  - Geräusch- und Interferenzunterdrückung

Contents of the course Optimale und Adaptive Filter:
Short Description
The course “Optimal and adaptive filters” gives an introduction to the basic techniques and theories of adaptive filters. Based upon the basics of estimation theory optimal filters are discussed. Subsequently the topics Wiener filter theory, deterministic optimization under constraints and stochastic gradient methods are regarded. Concluding the Least Squares approach for solving filter tasks and the Kalman filter are introduced. The latter is regarded as a brief introduction to state based filters.
Contents

- Classic parameter estimation
  - Estimators
  - MMSE-Estimation
  - Linear estimators
  - Orthogonality principle
  - Evaluation of estimators
- Wiener filter
  - Wiener-Hopf equation
  - AR- and MA processes
  - Linear prediction
- Iterative optimization methods
  - Gradient ascent/descent
  - Newton method
- Linear adaptive filters
  - LMS algorithm
  - Least-Squares method
  - Blockwise and recursive adaptiv filters
  - Realization aspects
- Statemodel based filters
  - Kalman filter
- Applications
  - System identification
  - Channel estimation and equalization
  - Multi-channel speech signal processing
  - Noise and interference suppression

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Problemstellungen im Bereich der adaptiven Filterung zu analysieren und Anforderungen mathematisch zu formulieren
- Filter anhand von Kostenfunktionen zu entwickeln und
- ausgewählte adaptive Filter im Frequenz- oder Zeitbereich zu implementieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können theoretische Ergebnisse in praktische Realisierungen überprüfen,
- können theoretische Ansätze mittels methodenorientiertem Vorgehen einer systematischen Analyse unterziehen und
- sind durch die fundierte Betrachtung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyze task on the field of adaptive filters and to formulate requirements mathematically,
- develop filter using cost functions and
- implement selected adaptive filters in the frequency or time domain.

Key qualifications:
The students

- are able to check theoretical results using practical realizations,
- are able to undertake theoretical approaches a systematic analysis using methodical procedures and
- are, due to the precise treatment of the contents, in a position to continue their learning themselves.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Jörg Schmalenströer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optimale und Adaptive Filter:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/nt/lehre/veranstaltungen/optimale-und-adaptive-filter` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Tafeleinsatz und Präsentationen, • Abwechselnde theoretische und praktische Präsenzübungen mit Übungsblättern und Rechnern und • Demonstrationen von Systemen in der Vorlesung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher; Matlab Skripte

Remarks of course Optimale und Adaptive Filter:
Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/nt/teaching/veranstaltungen/optimal-and-adaptive-filter`
Implementation

- Lectures using the blackboard and presentations,
- Alternating theoretical and practical exercises classes with exercise sheets and computer and
- Demonstration of real technical systems in the lecture hall.

Teaching Material, Literature
Allocation of a script; information on textbooks; matlab scripts

Theory and Design of Phase-locked Loops			
Theory and Design of Phase-locked Loops			
Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.24020	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:
Empfohlen:

- Fortgeschrittene Signaltheorie
- Statistische Signalverarbeitung (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Bachelor-Lehrplan)
- Schaltungs- und Systementwurf (oder ein anderer Kurs mit vergleichbarem Lehrplan im Bachelorstudium

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Phase-locked Loops:* **Recommended:** • Advanced Signal Theory • Statistical Signal Processing (or another course with comparable syllabus in their bachelor) • Circuit and system design (or another course with comparable syllabus in their bachelor)
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Phase-locked Loops:* Kapitel 1: Motivation • Definition von Zeit und Frequenz – Definition in SI-Einheiten – statischer Frequenzfehler • Zufallsschwankungen – Amplituden-/Phasenrauschen (AM/PM) Kapitel 2: Mathematischer Formalismus von Signalen • Basisband- und Bandpass-Signale • Zeit- und Frequenzbereich Kapitel 3: Einführung in Zufallsprozesse • Basisband-Zufallsprozesse und Rauschen – Korrelationsfunktionen im Zeit- und Frequenzbereich – einige Basisband-Zufallsprozesse (thermisches Rauschen, Schrotrauschen, Flickerrauschen . . .) • Bandpass-Zufallsprozesse – Korrelationsfunktionen – Beziehung zu Basisbandprozessen – Phasenrauschen und Amplitudenrauschen Kapitel 4: PLL-Bausteine • Phasendetektor – Phasendetektor-Modell – Phasenrauschen des Phasendetektors • VCO – VCO-Modell – Phasenrauschen des VCO • Frequenzumsetzer – Frequenzteiler – Frequenzmultiplikator – Phasenrauschen von Frequenzumsetzern • Entwurf von PLL-Blöcken auf Transistorebene Kapitel 5: Integer N PLLs: – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen Kapitel 6: Fractional PLLs – Zeitbereich – Frequenzbereich – Phasenrauschen – Störfrequenzen

Contents of the course Theory and Design of Phase-locked Loops:
Chapter 1: Motivation

- Time and frequency definition – definition in SI units – static frequency error
- random fluctuations – Amplitude/Phase (AM/PM) noise

Chapter 2: Mathematical formalism of signals

- baseband and bandpass signals
- time and frequency domain

Chapter 3: introduction to random processes

- baseband random processes and noise – correlation functions in time and frequency domain – some basedband random processes (thermal noise, shot noise, flicker noise . . .)
- bandpass random processes – correlation functions – relation to baseband processes – phase noise and amplitude noise

Chapter 4: PLL building blocks

- Phase detector – Phase detector model – phase noise of phase detector
- VCO – VCO model – phase noise of VCO
- Frequency translators – frequency divider – frequency multiplier – phase noise of frequency translators
- transistor level design of PLL blocks

Chapter 5: Integer N PLLs: – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies
Chapter 6: Fractional PLLs – Time domain – frequency domain – phase noise – spurious frequencies

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis des statischen/dynamischen Fehlers in Frequenznormalen. Mathematische Modellierung von Amplituden-/Phasenrauschen. Modellierung von Zufallsprozessen im Zeit- und Frequenzbereich. Grundlegende und moderne PLL-Architektur und ihre Bausteine. Systematischer Entwurf von PLLs. Entwurf und Modellierung von Integer/Fractional N PLL.

Understanding of static/dynamic error in frequency standards. Mathematical modeling of amplitude/phase noise. Modeling random processes in time and frequency domain. Basic and modern PLL architecture and its building blocks. Systematic design of PLLs. Design and Modeling of Integer/Fractional N PLL.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Meysam Bahmanian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Module Homepage https://www.hni.uni-paderborn.de/en/sct/teaching/theory-and-design-of-plls **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Topics in Signal Processing			
Topics in Signal Processing			
Modulnummer / Module number: M.048.92014	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92014 Topics in Signal Processing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Empfohlen: Signal- und Systemtheorie, mindestens Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie und linearen Algebra

None

Prerequisites of course Topics in Signal Processing:
Recommended: Signal and system theory, at least a basic understanding of probability and linear algebra

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:
Kurzbeschreibung
Diese Veranstaltung behandelt eine Auswahl von aktuellen Themen in der Signalverarbeitung. Ein Teil der Veranstaltung besteht aus regulären Vorlesungen, wohingegen der andere aktive Mitarbeit von Studenten voraussetzt.
Inhalt
Zunächst werden in diesem Kurs relevante Aspekte aus der linearen Algebra und Wahrscheinlichkeitstheorie wiederholt. Danach werden Studenten angeleitet, aktuelle Veröffentlichungen aus der Signalverarbeitungsliteratur zu lesen, zu analysieren und dann auch zu präsentieren.

Contents of the course Topics in Signal Processing:
Short Description
This course covers a selection of current topics in signal processing. One part of this course will follow a regular lecture format, while the other part will require active student participation.
Contents
This course will first review relevant aspects of linear algebra and probability theory. Then students will learn how to read, analyze, and present recent papers from the signal processing literature.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

In dieser Veranstaltung werden Studenten mit aktuellen Forschungsthemen in der Signalverarbeitung vertraut gemacht. Studenten lernen, wissenschaftliche Veröffentlichungen zu verstehen und kritisch zu bewerten. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Die in dieser Veranstaltung gelernten Prinzipien können auf andere Gebiete angewandt werden.

In this course, students will familiarize themselves with some current research topics in signal processing. They will learn to read and understand scientific publications and to critically evaluate results. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. They will be able to apply the principles they have learnt in this course to other areas.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

	none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Peter Schreier
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Topics in Signal Processing:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Übung mit aktiver Beteiligung der Studenten, Präsentationen von Studenten **Lernmaterialien, Literaturangaben** Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben. *Remarks of course Topics in Signal Processing:* **Course Homepage** `http://sst.uni-paderborn.de/teaching/courses/` **Implementation** Lectures and tutorials with active student participation, student presentations **Teaching Material, Literature** References will be given in the first lecture.

Wireless Communications			
Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.24022	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 2.-4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2V 2Ü, SS	60	120	WP	30 / 30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.24022 Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	CE	30 / 30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Wireless Communications:
Empfohlen:
Vorkenntnisse aus den Modulen Signal- und Informationsübertragung, Signaltheorie und Stochastik für Ingenieure.

Prerequisites of course Wireless Communications:
Recommended:
Prior knowledge from the modules Signal and Information Transmission, Signal Theory, and Probability for Engineers.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Wireless Communications:* Die Veranstaltung vermittelt den Studierenden wichtige Grundkenntnisse, die für das Verständnis der Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme notwendig sind. Ausgehend von einem physikalischen Verständnis des Mobilfunkkanals, insbesondere der Phänomene Mehrwegeausbreitung und Dopplereffekt, wird die physikalische und statistische Modellierung von zeitvarianten Kommunikationssystemen dargestellt. Anschließend werden wichtige Diversitätsverfahren zur kanalangepassten Übertragung sowie Mehrfachzugriffsverfahren vorgestellt. *Contents of the course Wireless Communications:* The course provides students with important basic knowledge necessary for understanding the transmission concepts of modern mobile communication systems. Starting with a physical understanding of the mobile communications channel, in particular the phenomena of multipath propagation and the Doppler effect, the physical and statistical modeling of time-varying communication systems is presented. Subsequently, important diversity techniques for channel-adaptive transmission and multiple access techniques are introduced.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • grundlegende Ausbreitungsmechanismen im Mobilfunkkanal zu erklären; • physikalische und statistische Modelle zeitvarianter Kommunikationskanälen zu beschreiben und verwenden; • Fading-Prozesse zu analysieren und ihre Auswirkung auf die Übertragungszuverlässigkeit zu bewerten; • Diversitätsverfahren und ihre Bedeutung für robuste drahtlose Übertragungen zu erläutern; • gängige Mehrfachzugriffsverfahren zu erklären, vergleichen und bewerten; • Übertragungskonzepte moderner Mobilfunksysteme zu beurteilen; • theoretische Kanalmodelle mit praktischen Aspekten des Systementwurfs zu verknüpfen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • haben ausgeprägte analytische und mathematische Kompetenzen; • können komplexe physikalische Phänomene in ingenieurwissenschaftlichen Modellen abstrahieren; • können analytische Ergebnisse auf Systemebene interpretieren; • sind in klarer und präziser technischer Kommunikation geübt (mündlich und schriftlich); • können selbstständig Lernen und sich kritisch mit technischer Fachliteratur auseinandersetzen.

Domain competence:
After completion of the course students will be able to

- understand the fundamental propagation mechanisms in mobile radio channels;
- describe and apply physical and statistical modeling principles to time-varying communication channels;
- analyze fading processes and asses their impact on transmission reliability;
- explain diversity techniques, apply them to design physical layer signal processing algorithms, and assess their impact on transmission reliability;
- explain, compare, and evaluate common multiple access schemes;
- assess transmission concepts employed in contemporary mobile communication systems;
- connect theoretical channel models with practical system design considerations.

Key qualifications:
The students

- have strong analytical and mathematical reasoning skills;
- have the ability to abstract complex physical phenomena into engineering models;
- can interpret analytical results at the system level;
- have experience in clear and precise technical communication (oral and written)
- can learn independently and engage critically with technical literature.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bho Matthiesen
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** https://www.hni.uni-paderborn.de/nt/ **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Bereitstellung von Vorlesungsfolien; ausgiebige Literaturhinweise zu jeder Vorlesung. **Module Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/nt` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Lecture slides and reading assignments for each lecture; additional reading suggestions.

3.4 ET-Katalog Mikroelektronik

Advanced VLSI Design			
Advanced VLSI Design			
Modulnummer / Module number: M.048.92043	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92043 Advanced VLSI Design	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:
Empfohlen: Grundlagen der Digitaltechnik / Grundlagen des VLSI-Entwurfs

None

Prerequisites of course Advanced VLSI Design:
Recommended: Fundamentals of Digital Circuits / Fundamentals of VLSI Design
Information: Unless otherwise specified, these are recommendations.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Kurzbeschreibung** Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse über die moderne anwendungsorientierte Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese digitaler Systeme auf verschieden Abstraktionsebenen bis hin zum Chip-Layout. **Inhalt** Der Chipentwurf besteht in der heutigen Praxis aus der kombinierten Anwendung verschiedener Sprachen, Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation und Synthese elektronischer Schaltungen. Entlang des modernen abstraktionsebenbasierten Entwurfsflusses digitaler Systeme (Elektronische System Ebene bis hin zum Chiplayout) vermittelt die Veranstaltung grundlegendes Wissen der wesentlichen Beschreibungssprachen und ihrer Anwendung in Modellierung, Simulation, Analyse und Synthese. Dies umfasst Grundprinzipien und Anwendung der IEEE Standard-System/Hardwarebeschreibungssprachen SystemVerilog, SystemC, Verilog und VHDL in Verbindung mit zusätzlichen Formaten wie z.B. SDF und UPF zur Annotation des Zeit- und Leistungsverhaltens. In der Anwendung werden die wesentlichen Prinzipien von Testumgebungen zur Simulation, der Zeit- und Leistungsanalyse, der Logiksynthese und des physikalischen Entwurfs digitaler Schaltungen. Die Übungen begleiten die Veranstaltung unter Verwendung kommerzieller Werkzeuge von Mentor Graphics, Synopsys und Cadence Design Systems. *Contents of the course Advanced VLSI Design:* **Short Description** The course provides basic knowledge about the modern application-oriented modeling, simulation, analysis, and synthesis of digital systems at different abstraction levels to chip layout. **Contents** In today's practice, chip design consists of the combined application of various languages, methods, and tools for the modeling, simulation, and synthesis of electronic circuits. Along the modern abstraction-based design flow of digital systems (electronic system level to chip layout), the course provides basic knowledge of the main description languages and their application in modeling, simulation, analysis and synthesis. This includes basic principles and application of the IEEE standard system/hardware description languages SystemVerilog, SystemC, Verilog, and VHDL, in conjunction with additional formats, e.g., SDF and UPF for time and power annotation. For their application, the fundamental principles of test environments for simulation, timing and power analysis, logic synthesis and physical design of digital circuits. Exercises will provide hands-on labs based on commercial tools from Mentor Graphics, Synopsys and, Cadence Design Systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz** Die Studierenden sind nach Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage • einfache digitale Schaltungen auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu modellieren, zu simulieren, zu analysieren und zu synthetisieren und • die wichtigsten kommerziellen Werkzeuge in der Simulation, Analyse und Synthese digitaler Schaltungen anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden sind nach Besuch der Veranstaltung in der Lage • moderne Sprachen zur Beschreibung digitaler Schaltungen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für die verschiedenen Anwendungen zu beurteilen, auszuwählen und anzuwenden und • die verschiedenen Methoden und Werkzeuge im modernen VLSI-Entwurf anzuwenden.

Domain competence:
After the course students are able

- to model, simulate, analyze and synthesize simple digital circuits at different abstraction levels and
- to apply the most important commercial tools for simulation, analysis and synthesis of digital circuits.

Key qualifications:
After the course students are able

- to assess, select and apply modern digital circuit description languages for their different applications,
- apply the different methods and tools in the modern VLSI design.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** apl. Prof. Dr. Wolfgang Mueller
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced VLSI Design:* **Lehrveranstaltungsseite** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Beamer und White-Board • Übungen mit Übungsblättern am Computer **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter werden über PAUL zur Verfügung gestellt • IEEE Standard-Referenzhandbücher: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Einzelliteratur zu einzelnen Lehreinheiten *Remarks of course Advanced VLSI Design:* **Course Homepage** `www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/advanced-vlsi-design` **Implementation** * Vorlesung mit Beamer und White-Board * Übungen mit Übungsblättern am Computer * Lecture with LCD projector and white board * Exercises with assignments and hands-on labs **Teaching Material, Literature** • Lecture notes and exercise sheets will be provided via PAUL • IEEE standard reference manuals: IEEE Std 1800/1685/1666/1364/1076/1801/1497 • Specific references for individual teaching units

Analoge CMOS-Schaltkreise			
Analog CMOS ICs			
Modulnummer / Module number: M.048.25008	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.048.25008 Analoge CMOS-Schaltkreise	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.25008 Analog CMOS ICs	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Analoge CMOS-Schaltkreise:
Empfohlen: Vorkenntnisse aus den Modulen Höhere Mathematik, Physik, Grundlagen der Elektrotechnik, Werkstoffe der Elektrotechnik, Halbleiterbauelemente, Signaltheorie und Systemtheorie.

None

Prerequisites of course Analoge CMOS-Schaltkreise:
Recommended: Prior knowledge from the modules Higher Mathematics, Physics, and the Foundations of Electrical Engineering, Materials of Electrical Engineering, Semiconductor Devices, Signal Theory, System Theory.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Analoge CMOS-Schaltkreise:* **Kurzbeschreibung Die Veranstaltung vermittelt grundlegende Kenntnisse zur analogen Transistorschaltungstechnik mit besonderem Bezug zur CMOS-Technologie. **Inhalt** Auf der Grundlage der vereinfachten sowie der erweiterten Kennlinientheorie des MOS-Transistors werden analoge Verstärkerschaltungen vorgestellt und zunächst hinsichtlich des Gleichstromverhaltens analysiert. Anschließend werden das Frequenzverhalten, das Rauschen, die Wirkung von Rückkopplungen, die Stabilität, die Nichtlinearität sowie die Auswirkungen fertigungstechnisch bedingter Asymmetrien betrachtet. Als weitere Schaltungen werden Oszillatoren, Referenzspannungsquellen und geschaltete Kapazitäten diskutiert. Die Lehrveranstaltung schließt mit Betrachtungen zur Modellierung und zum Layout der grundlegenden Bauelemente. *Contents of the course Analoge CMOS-Schaltkreise:* **Short Description** The course provides basic knowledge on analogue circuit technology with particular regard to complementary MOS transistors. **Contents** Based on simplified as well as advanced current-voltage characteristics of MOS transistors, analogue amplifier circuits are introduced and analyzed with respect of its DC behavior. Next, frequency performance, noise, effects of feed-backs, stability, non-linearity, and impacts of fabrication related asymmetries are considered. Further circuits such as oscillators, reference voltage sources, and switched capacitors are discussed. The course concludes with remarks on modeling and layout issues of basic devices.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • das Verhalten von analogen Schaltungen mit wissenschaftlichen Methoden zu analysieren • und das so erworbene Wissen kreativ beim Schaltungsentwurf einzusetzen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können methodisches Wissen bei der systematischen Problemanalyse einsetzen, • festigen erworbenes Grundlagenwissen durch Übung, • entwickeln so ihre kreativen Fähigkeiten weiter • und erwerben fachbezogene Fremdsprachenkompetenz.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- analyse the characteristics of analogue circuits using scientific methods
- and can make creative use of the acquired knowledge in the circuit design process.

Key qualifications:
The students

- make use of methodic knowledge for systematic problem analysis,
- consolidate their basic knowledge by practical training,
- enhance their creative abilities,
- and gain foreign language competences related to the field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Andreas Thiede

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:**
	
	Hinweise der Lehrveranstaltung Analoge CMOS-Schaltkreise:
	Lehrveranstaltungsseite
	`http://groups.upb.de/hfe/lehre/acc.html`
	Methodische Umsetzung
	
	• Vorlesungen mit überwiegendem Tafeleinsatz, unterstützt durch Animationen und Folien,
	• Präsenzübungen mit Aufgabenblättern, deren Lösungen die Studierenden in der Übung gemeinsam und mit Unterstützung des Übungsleiters erarbeiten.
	
	Lernmaterialien, Literaturangaben
	A. Thiede, Analog CMOS Integrated Circuits, Vorlesungsskript Universität Paderborn A. Thiede, Analog CMOS Integrated Circuits, Lecture Script University Paderborn
	
	• Razavi, B.: Design of Analog CMOS Integrated Circuits. McGraw Hill. 2001
	
	Remarks of course Analoge CMOS-Schaltkreise:
	Course Homepage
	`http://groups.upb.de/hfe/teaching/acc.html`
	Implementation
	
	• Lectures with black board presentation, supported by animated graphics and transparencies,
	• Presence exercises with task sheets to be solved by the students together, supported by the teacher.
	
	Teaching Material, Literature
	A. Thiede, Analog CMOS Integrated Circuits, Vorlesungsskript Universität Paderborn A. Thiede, Analog CMOS Integrated Circuits, Lecture Script University Paderborn
	
	• Razavi, B.: Design of Analog CMOS Integrated Circuits. McGraw Hill. 2001

Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation			
Integrated Circuits for Wireless Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25017	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Empfohlen: Vorlesung Schaltungstechnik bzw. Circuit and System Design. Hilfreiche Ergänzung: Vorlesung “Wireless Communications” von Prof. Hab-Umbach.

None

Prerequisites of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:
Recommended: Lecture Schaltungstechnik rsp. Circuit and System Design. Helpful supplement: Lecture “Wireless Communications” of Prof. Hab-Umbach.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** Mobilkommunikation, drahtlose Netzwerke und die RFID-Technik sind beispielhafte Anwendungen der Funkkommunikation, die Eingang in den Alltag gefunden haben und auch in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Frequenzen erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen für die Funkkommunikation, deren Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, ein Verständnis des methodischen Entwurfs integrierter, elektronischer Schaltungen für die drahtlose Kommunikation zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird selbständig in Teamarbeit als CAD-Übung unter Nutzung modernster Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von integrierten Schaltungen für die drahtlose Kommunikaation. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung von Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die folgenden Themen werden behandelt: • Sende-/Empfangs-Architekturen f. die drahtlose Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen – Signale und Rauschen – Modulation und Demodulation – Übertragungsverhalten von Funksystemen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärker (low-noise amplifier, variable gain amplifier) • Mischer • Oszillatoren • Frequenzsynthesizer-PLLs

	Contents of the course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation: **Short Description** Mobile communications, wireless networks, and RFID technology are application examples of wireless communications. Wireless communications has found widespread use in everyday life and will become even more important in the future. The design of electronic circuits for radio frequencies requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures in wireless communications, components, and radio signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to convey a methodical approach to the design of integrated circuits for wireless communications. A part of the exercises will pertain to calculation of circuit design problems another will be performed in small teams as a hands-on exercise using modern IC design software. **Contents** The lecture deals with analysis and design of radio frequency integrated circuits for wireless communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The following topics will be addressed: • Transmitter and receiver architectures for wireless communications • System Theory Basics – Signals and noise – Modulation and demodulation – Transmission properties of wireless communcations systems • Semiconductor technologies and integrated high-frequency devices • Amplifiers (low-noise and variable-gain amplifiers) • Mixers • Oscillators • Frequency synthesizer PLLs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Besuch der Vorlesung in der Lage, • Architekturen und Schaltungen von drahtlosen Kommunikationssystemen zu beschreiben • wesentliche Übertragungseigenschaften von Funksystemen zu beschreiben und zu berechnen • Entwurfsmethoden anzuwenden, um integrierte Schaltungskomponenten für Funksysteme zu entwerfen The students will be able • to describe architectures and circuits of wireless communication systems • to describe and calculate fundamental signal transmission properties of wireless systems • to apply design methods to design components of radio frequency ICs

<table>
<tr><td>6</td><td>Prüfungsleistung / Assessments:
☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Prüfungsform</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>Gewichtung für die Modulnote</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Mündliche Prüfung</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table>
☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of examination</th><th>Duration or scope</th><th>Weighting for the module grade</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Oral Examination</td><td>30-45 min</td><td>100%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
keine
none</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Keine
None</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Methodische Umsetzung** • Vorlesung mit Powerpoint-Präsentation und handschriftlichen Herleitungen auf Tablet und Beamer • Übung zum Teil als handschriftliche Rechenübung mit Tablet und Beamer, zum Teil als Praxisübung mit IC-Entwurf mittels Chip-Entwurfssoftware **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien und Videos der Vorlesungen, sowie Folien zur Übung werden zur Verfügung gestellt. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003 *Remarks of course Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/integrierte-schaltungen-fuer-die-drahtlose-kommunikation/` **Implementation** • Lecture with Powerpoint presentation and handwritten mathematical derivations using tablet and beamer • Exercises partly as handwritten calculation exercises using tablet and beamer and partly as practical IC design exercises using IC design software **Teaching Material, Literature** Lecture slides and videos as well as exercise slides will be made available. • Behzad Razavi “RF Microelectronics”, Prentice Hall, 2011 • Thomas Lee “The Design of CMOS Radio-Frequency Integrated Circuits”, Cambridge University Press 2003

Modern Semiconductor Lasers			
Modern Semiconductor Lasers			
Modulnummer / Module number: M.048.26012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Empfohlen:
Vertrautheit mit grundlegenden Konzepten der Optik, Quantenmechanik und Halbleiterphysik ist jedoch sehr zu empfehlen.

None

Prerequisites of course Modern Semiconductor Lasers:
Recommended:
The familiarity with basic concepts from optics, quantum mechanics and semiconductor physics is highly recommended.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Halbleiterlaser sind zentrale Lichtquellen der modernen Photonik und ermöglichen Anwendungen, die von der optischen Kommunikation und Sensorik bis hin zu Quantentechnologien reichen. Neben einer Wiederholung der physikalischen Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs konzentriert sich dieser Kurs auf aktuelle Fortschritte und neue Entwicklungsrichtungen, die das Fachgebiet maßgeblich prägen. Die Teilnehmenden lernen neuartige Laserkonzepte kennen, die auf photonischen Kristallen, Nanophotonik, Spintronik, Topologie und nicht-hermitescher Physik basieren, sowie die theoretischen Ansätze, die zur Beschreibung dieser Bauelemente über die konventionelle Lasertheorie hinaus erforderlich sind.
Zu den behandelten Themen gehören:

- Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs: Verstärkungsmedien, Laserdynamik, Modulationsverhalten und Linienbreite
- Modernste Halbleiterlaser-Technologien und deren Leistungsgrenzen
- Oberflächenemittierende Laser auf Basis photonischer Kristalle (PCSELs) und skalierbare Einmoden-Hochleistungsemission
- Nanolaser, Hohlraum-Quantenelektrodynamik (Cavity QED) und schwellenloser Laserbetrieb
- Spinlaser und neue Ansätze zur ultraschnellen Informationskodierung
- Laser auf Basis gebundener Zustände im Kontinuum (BIC) und topologische Laser
- Aufstrebende Konzepte, darunter supersymmetrische, PT-symmetrische, Dirac-, polaritonische und plasmonische Laser
- Fortgeschrittene theoretische Themen: nicht-hermitesche Effekte, Quantenrauschen, komplexe Verstärkungsmedien und moderne numerische Verfahren für großskalige Lasersysteme

Contents of the course Modern Semiconductor Lasers:
Semiconductor lasers are the key light sources of modern photonics, enabling applications ranging from optical communications and sensing to quantum technologies. While reviewing the fundamental principles of semiconductor laser operation, this course focuses on recent advances and emerging directions that are reshaping the field. Participants will explore novel laser concepts based on photonic crystals, nanophotonics, spintronics, topology, and non-Hermitian physics, as well as the theoretical frameworks required to describe these devices beyond conventional laser theory.
Topics covered include:

- Fundamentals of semiconductor laser operation: gain media, laser dynamics, modulation response, and linewidth
- State-of-the-art semiconductor laser technologies and their performance limits
- Photonic-crystal surface-emitting lasers (PCSELs) and scalable single-mode high-power emission
- Nanolasers, cavity quantum electrodynamics, and thresholdless lasing
- Spin lasers and new approaches to ultrafast information encoding
- Bound-state-in-continuum (BIC) lasers and topological lasers
- Emerging concepts including supersymmetric, PT-symmetric, Dirac, polaritonic, and plasmonic lasers
- Advanced theoretical topics: non-Hermitian effects, quantum noise, complex gain media, and modern computational approaches for large-scale laser systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Kurses sind die Teilnehmenden in der Lage, die physikalischen Prinzipien zu erläutern, die dem Betrieb von Halbleiterlasern zugrunde liegen – einschließlich optischer Verstärkung, Laserdynamik, Modulationsverhalten und der Ursachen der Linienbreite. Sie können etablierte Halbleiterlaser-Technologien analysieren und vergleichen sowie deren Leistungsgrenzen bewerten. Darüber hinaus entwickeln die Teilnehmenden ein kritisches Verständnis für neuartige Laserkonzepte – wie etwa photonische Kristalllaser, Nanolaser, Spinlaser, BIC-Laser und topologische Laser – und können deren Funktionsweise mit aktuellen Konzepten der Photonik wie der Hohlraum-Quantenelektrodynamik, der nicht-hermiteschen Physik und der Topologie in Zusammenhang bringen. Schließlich machen sich die Teilnehmenden mit fortgeschrittenen theoretischen und numerischen Methoden zur Beschreibung moderner Halbleiterlaser vertraut und sind in der Lage, die aktuelle Forschungsliteratur auf diesem sich rasch entwickelnden Gebiet zu beurteilen.

Upon successful completion of this course, participants will be able to explain the physical principles governing semiconductor laser operation, including optical gain, laser dynamics, modulation response, and origin of linewidth. They will be able to analyze and compare established semiconductor laser technologies and evaluate their performance limitations. Furthermore, participants will develop a critical understanding of emerging laser concepts, including photonic-crystal, nano-, spin-, BIC, and topological lasers, and will be able to relate their operation to contemporary concepts in photonics such as cavity quantum electrodynamics, non-Hermitian physics, and topology. Finally, participants will gain familiarity with advanced theoretical and computational approaches used to describe modern semiconductor lasers and will be able to assess current research literature in this rapidly evolving field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

	None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mariusz Drong
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation			
Fast Integrated Circuits for Wireline Communications			
Modulnummer / Module number: M.048.25019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:
Empfohlen: Modul “Schaltungstechnik” des Bachelor Elektrotechnik oder Modul “Circuit and System Design” des Master “Electrical Systems Engineering” oder vergleichbare Module / Vorlesungen

	None *Prerequisites of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Recommended:** Module “Schaltungstechnik” of the Bachelor Electrical Engineering or module “Circuit and System Design” of the Master “Electrical Systems Engineering” or comparable modules / lectures
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Kurzbeschreibung** In der Glasfaserkommunikation werden heutzutage in kommerziellen Systemen sehr hohe Bitraten von über 100 Gb/s pro optischem Kanal und mehreren Tb/s in einer Glasfaser erreicht. In ähnlicher Weise treten heute bei der Signalübertragung zwischen Chips hohe Bitraten von mehr als 10 Gb/s an einem einzelnen Gehäuse-Pin auf, die über Leiterplatten und preisgünstige serielle Kabelverbindungen übertragen werden müssen. In Zukunft werden durch den Fortschritt der CMOS-Technologie und der optischen Kommunikationstechnik die Datenraten weiter kontinuierlich steigen. Der Entwurf von elektronischen Schaltungen für hohe Bandbreiten bzw. Bitraten erfordert ein gutes Systemverständnis im Hinblick auf die typischen Sende-/Empfangsarchitekturen, Komponenten und Signaleigenschaften. Überdies ist ein gutes Verständnis des Schaltungsentwurfs integrierter Schaltungen und eine genaue Höchstfrequenz-Modellierung von passiven und aktiven Bauelementen notwendig. Ziel der Vorlesung ist es, den Studenten ein Verständnis des methodischen Entwurfs schneller integrierter, elektronischer Schaltungen für die digitale leitungsgebundene Kommunikationstechnik zu vermitteln. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. **Inhalt** Die Vorlesung vermittelt den methodischen Entwurf von schnellen, integrierten, elektronischen Schaltungen für digitale leitungsgebundene Kommunikationssysteme. Ein Teil der Übungen wird als CAD-Übung unter Nutzung moderner Chip-Entwurfssoftware durchgeführt. Die Vorlesung baut auf die Pflichtvorlesung “Schaltungstechnik” bzw. “Circuit and System Design” auf. Die Vorlesung behandelt: • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Glasfaserkommunikation • Sende- und Empfangsarchitekturen für die Chip-to-chip-Kommunikation • Systemtheoretische Grundlagen • Halbleitertechnologien und integrierte HF-Bauelemente • Verstärkerschaltungen • Logikschaltungen in Stromschaltertechnik (CML) • PLL-Technik für Synthesizer und Taktrückgwinnung • Messverfahren

Contents of the course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:

Short Description

Nowadays commercial fiber-optic communication systems reach very high data rates of 100 Gb/s per optical channel and several Tb/s in a single fiber. In a similar way very high data rates of more than 10 Gb/s occur at a single package pin of electronic chips. These signals are to be transmitted over printed circuit boards and inexpensive serial cables. In the future the progress of CMOS technology and communication technology will push speed of fiber-optic and wire-line communication continuously to ever higher data rates. The design of electronic circuits for high bandwidth rsp. data rates requires a good system knowledge with respect to typical transmitter and receiver architectures, components, and signal properties. Furthermore a thorough understanding of integrated circuit design as well as precise high-frequency modeling of passive and active devices are required. Goal of the lecture is to enable the student to utilize a methodological approach for the design of fast integrated electronic circuits for digital wired communications. A part of the exercises will be carried out using modern industry-standard IC design software.

Contents

The lecture deals with analysis and design of fast integrated electronic circuits for digital broadband communication systems. A part of the exercises will be performed using modern chip design CAD tools. The lecture is based on the compulsory lectures “Schaltungstechnik” rsp. “Circuit and System Design”. The lecture deals with:

- Transmitter and receiver architectures for fiber-optic communications
- Transmitter and receiver architectrues for chip-to-chip communications
- System design
- Semiconductor technology and integrated high-frequency devices
- Broadband amplifiers
- Current-mode logic
- Transmitter and receiver circuits
- PLLs for frequency synthesis and clock recovery
- Measurement methods

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:

Der Student wird in der Lage sein: Sende- und Empfangsarchitekturen für die Breitbandkommunikation zu beschreiben und zu analysieren. Halbleitertechnologien und Hochfrequenz-Baulemente für die Breitbandkommunikation zu verstehen und zu beschreiben. Schaltungstechniken für Sende- und Empfangsschaltungen zu analysieren und Massnahmen zur Optimierung zu beschreiben. Schaltungen in PLL-Technik für Frequenzsynthese und Taktrückgewinnung zu beschreiben. Messmethoden zu beschreiben.

Fachübergreifende Kompetenzen:

Die Studenten lernen, wie verschiedene interdisziplinäre wissenschaftliche Bereiche - wie mathematische Signal- und Systemanalyse, nichtlineare und lineare Schaltungsanalyse, Halbleiterphysik, Bauelemente und Hochfrequenztechnik - zur Entwicklung von Kommunikations-Anwendungen miteinander kombiniert werden.

Domain competence:
The student will be able to:

- describe and analyze transmitter and receiver architectures for broadband communication links
- understand and describe semiconductor technologies and integrated high-frequency devices for broadband circuits
- to analyze circuit design techniques for transmitter and receiver circuits and describe ways to optimize them
- to describe circuits in PLL technique for frequency synthesis and clock recovery
- to describe measurement methods

Key qualifications:
The students will learn how different interdisciplinary scientific domains and their methods - like mathematical signal and system analysis, non-linear and linear circuit analysis, semiconductor physics, semiconductor devices and high-frequency engineering - are applied together for the development of communications application.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung	30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Oral Examination	30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. J. Christoph Scheytt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übungen (einschließlich rechnerunterstütztem Entwurf mit IC-Entwurfssoftware) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Literatur-Referenzen werden in der Vorlesung angegeben. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Bemerkungen** Im Rahmen der Vorlesung wird eine 2-tägige Exkursion zum IHP Leibnizinstitut für Innovative Mikroelektronik in Frankfurt (Oder) mit Besichtigung einer modernen Chipfertigung angeboten (Teilnahme ist freiwillig). *Remarks of course Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation:* **Course Homepage** `https://www.hni.uni-paderborn.de/en/system-and-circuit-technology/teaching/fast-integrated-circuits-for-wireline-communications/` **Implementation** Lecture with Exercises (including computer-aided design using electronic design software) **Teaching Material, Literature** Handouts and literature references will be given in the lecture. • E. Säckinger, “Broadband Circuits for Optical Fiber Communication”, Wiley, 2005 • B. Razavi, “Design of Integrated Circuits for Optical Communications”, McGraw-Hill, 2003 **Comments** As part of the lecture a 2-day excursion to IHP Leibnizinstitute for High-Performance Microelectronics in Frankfurt (Oder) is offered which includes the visit of a modern chip fabrication facility (participation in the excursion is voluntary).

VLSI-Testing			
VLSI-Testing			
Modulnummer / Module number: M.048.92027	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92027 VLSI Testing	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung VLSI Testing:
Empfohlen: Digitaltechnik

None

Prerequisites of course VLSI Testing:
Recommended: Digital Design

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung "VLSI Testing" behandelt systematische Verfahren zur Erkennung von Hardware-Defekten in mikroelektronischen Schaltungen. Es werden sowohl Algorithmen zur Erzeugung und Auswertung von Testdaten als auch Hardwarestrukturen zur Verbesserung der Testbarkeit und für den eingebauten Selbsttest vorgestellt. **Inhalt** Im einzelnen werden die folgenden Themen behandelt: • Fehlermodelle • Testbarkeitsmaße und Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit • Logik- und Fehlersimulation • Algorithmen zur Testmustererzeugung • Selbsttest, insbesondere Testdatenkompression und Testantwortkompaktierung • Speichertest *Contents of the course VLSI Testing:* **Short Description** The course "VLSI Testing" focuses on techniques for detecting hardware defects in microelectronic circuits. Algorithms for test data generation and test response evaluation as well as hardware structures for design for test (DFT) and on-chip test implementation (BIST) are presented. **Contents** In detail the following topics are covered: • Fault models • Testability measures and design for test (DFT) • Logic and fault simulation • Automatic test pattern generation (ATPG) • Built-in self-test (BIST), in particular test data compression and test response compaction • Memory test
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Fehlermodelle, Maßnahmen zur Verbesserung der Testbarkeit und Werkzeuge zur Unterstützung des Tests zu beschreiben, • die grundlegenden Modelle und Algorithmen für Fehlersimulation und Test zu erklären und anzuwenden, sowie • Systeme im Hinblick auf ihre Testbarkeit zu analysieren und geeignete Teststrategien auszuwählen. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden können • die trainierten Problemlösungsstrategien disziplinübergreifend einsetzen, • ihre Lösungen den anderen Teilnehmern präsentieren und • die erworbenen Kompetenzen im Selbststudium vertiefen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able

- to describe fault models, DFT techniques, and test tools,
- to explain and apply the underlying models and algorithms for fault simulation and test generation,
- to analyze systems with respect to their testability and to derive appropriate test strategies.

Key qualifications:
The students

- are able to apply the practiced strategies for problem solving across varying disciplines,
- have experience in presenting their solutions to their fellow students, and
- know how to improve their competences by private study.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sybille Hellebrand
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung VLSI Testing:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `https://ei.uni-paderborn.de/date/lehre/uebersicht` **Methodische Umsetzung** * Vorlesung mit Beamer und Tafel * Präsenzübungen in kleinen Gruppen mit Übungsblättern zu den theoretischen Grundlagen, Präsentation der Lösungen durch Übungsteilnehmer * Praktische Übungen mit verschiedenen Software-Werkzeugen am Rechner **Lernmaterialien, Literaturangaben** Aktuelle Hinweise auf ergänzende Literatur und Lehrmaterialien im jeweiligen panda-Kurs • Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000 • Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

Remarks of course VLSI Testing:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`https://ei.uni-paderborn.de/en/electrical-engineering/date/teaching/electrical-engineering/overview`
Implementation

- Lecture based on slide presentation, extensions on blackboard
- Exercises in small groups based on exercise sheets with students presenting their own solutions
- Hands-on exercises using various software tools

Teaching Material, Literature
Additional material can be found in panda

- Michael L. Bushnell, Vishwani D. Agrawal, „Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits,"Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 2000
- Laung-Terng Wang, Cheng-Wen Wu, Xiaoqing Wen, „VLSI Test Principles and Architectures: Design for Testability," Morgan Kaufmann Series in Systems on Silicon, ISBN: 0123705975

3.5 ET-Katalog Optoelektronik

Fundamentals of Optics			
Fundamentals of Optics			
Modulnummer / Module number: M.048.26007	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.26007 Fundamentals of Optics	2V 2Ü, WS/SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26007 Fundamentals of Optics	2L 2Ex, WS/SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Fundamentals of Optics:
Empfohlen:
Es wird stark empfohlen, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bereits eine einführende Vorlesung wie „Fields and Waves“, „Electromagnetic Waves and Waveguides“ oder ähnliche Vorlesungen über grundlegende Konzepte der Ausbreitung elektromagnetischer Felder besucht haben. Daher sollten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bereits allgemein mit Konzepten wie den Maxwell-Gleichungen, den konstitutiven Beziehungen, der Wellengleichung und den Lösungen für ebene Wellen sowie dem Poynting-Vektor vertraut sein.

	None *Prerequisites of course Fundamentals of Optics:* **Recommended:** It is strongly advised that the participants should have already passed a more introductory lecture such as “Fields and Waves”, “Electromagnetic Waves and Waveguides”, or any similar lectures on basic concepts in electromagnetic field propagation. Hence, participants should already be generally familiar with concepts such as Maxwell’s equations, constitutive relations, wave equation and plane-wave solutions to it, and Poynting vector.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Fundamentals of Optics:* • Beugungstheorie (Beschreibung der Strahlenausbreitung in homogenen Medien unter Berücksichtigung verschiedener Näherungsregime, z. B. Fresnel-Regime und Fraunhofer-Regime). • Gaußsche Strahlen (einschließlich der Ausbreitung von Gaußschen Strahlen und Gaußschen Strahlen in einem Resonator). • Impulsausbreitung in dispersiven homogenen Medien (unter Berücksichtigung von Effekten wie Chirp und auch des Sonderfalls eines Gaußimpulses). • Fourier-Optik (Untersuchung der Übertragungsfunktion einer dünnen Linse, 2f-Anordnungen und 4f-Anordnungen zur optischen Filterung). • Optik in anisotropen Medien (Untersuchung des Indexellipsoids und der Normalmoden von anisotropen Kristallen). *Contents of the course Fundamentals of Optics:* • Diffraction theory (describing beam propagation in homogenous media, considering different approximation regimes, e.g. Fresnel regime and Fraunhofer regime). • Gaussian beams (including propagation of Gaussian beams and Gaussian beams in a resonator). • Pulse propagation in dispersive homogenous media (considering effects like chirp and also specific case of a Gaussian pulse). • Fourier optics (studying the transfer function of a thin lens, 2f setups and 4f setups for optical filtering). • Optics in anisotropic media (studying the index ellipsoid and the normal modes of anisotropic crystals).
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach der Teilnahme an den Vorlesungen und den dazugehörigen Übungen werden die Studierenden in der Lage sein: • in der Lage sein, Probleme der räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von elektromagnetischen/optischen Feldern in homogenen Medien mathematisch zu modellieren • Physikalisches Verständnis für die elektromagnetische/optische Strahl- und Impulsausbreitung erlangen • können die geeigneten Methoden und Näherungen zur Lösung von Feldausbreitungsproblemen identifizieren

After attending the lectures and the associated exercise sessions, the students will:

- Be able to mathematically model problems in spatial and temporal propagation of electromagnetic/optical field in homogenous media
- Gain physical intuition about the electromagnetic/optical beam and pulse propagation
- Be able to identify the appropriate methods and approximations to solve field propagation problems

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sina Saravi
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** Noch nicht verfügbar **Methodische Umsetzung** Die theoretischen Konzepte werden in Form von Vorlesungen vermittelt. Die Übungen bestehen aus theoretischen Problemen, die mit den Konzepten aus der Vorlesung zusammenhängen und von den Studentinnen und Studenten mathematisch gelöst werden können. Die Lösungen werden später in den Übungssitzungen präsentiert. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Es werden Vorlesungsunterlagen ausgeteilt; Literaturempfehlungen werden in der ersten Vorlesung gegeben. **Module Homepage** Not yet available **Implementation** The theoretical concepts will be taught in a lecture format. The exercises consist of theoretical problems related to the concepts from the lecture, to be solved mathematically by the students, and later on the solutions will be presented in the exercise sessions. **Teaching Material, Literature** Lecture notes will be handed out; literature recommendations will be given in the first lecture.

Advanced Quantum Optics			
Advanced Quantum Optics			
Modulnummer / Module number: M.048.26010	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.26010 Advanced Quantum Optics	2V 2Ü, WS/SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26010 Advanced Quantum Optics	2L 2Ex, WS/SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Quantum Optics:
Empfohlen:
Es wird stark empfohlen, dass die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bereits eine einführende Vorlesung wie „Theoretical Quantum Optics“, „Quantum Optics“ oder ähnliche Vorlesungen über grundlegende Konzepte der Quantenoptik besucht haben. Daher sollten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bereits mit Konzepten wie Feldquantisierung, Eigenschaften nichtklassischer Lichtzustände wie Fock-Zustände und kohärente Zustände, Quantentheorie der Licht-Materie-Wechselwirkung und Jaynes-Cummings-Modell vertraut sein.

	None *Prerequisites of course Advanced Quantum Optics:* **Recommended:** It is strongly advised that the participants should have already passed a more introductory lecture such as “Theoretical Quantum Optics”, “Quantum Optics”, or any similar lectures on basic concepts in quantum optics. Hence, participants should already be generally familiar with concepts such as field quantization, properties of nonclassical states of light such as Fock states and coherent states, quantum theory of light-matter interaction and Jaynes-Cummings model.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Quantum Optics:* • Einführung in Dichteoperatoren und Quantenoperationen (Krauss-Darstellung) • Ableitung der Lindblad-Mastergleichung aus einem phänomenologischen Ansatz und einer Ableitung aus ersten Prinzipien. Einführung von Sprungoperatoren. • Behandlung verschiedener Beispiele für ein offenes Quantensystem mit einem 2-Niveau-System und/oder einem verlustbehafteten optischen Hohlraum. • Einführung in die Physik und die mathematischen Methoden für Phasenraumbehandlungen in der Quantenoptik, wie z.B. Operatorräume und Expansionen in Operatorbasis. • Einführung in verschiedene Quasi-Wahrscheinlichkeitsverteilungen (einschließlich der Wigner-Funktion) und Untersuchung der grundlegenden Beziehungen zwischen ihnen, einschließlich konkreter Beispiele für einige Grundzustände. • Einführung in allgemeine Messungen. *Contents of the course Advanced Quantum Optics:* • Introducing density operators and quantum operations (Krauss maps) • Derivation of Lindblad master equation from both a phenomenological approach and a derivation from first principles. Introducing Jump operators. • Addressing various examples of an open quantum system involving a 2-level system and/or a lossy optical cavity. • Introducing the physics and the mathematical methods for phase-space treatments in quantum optics, such as operator spaces and expansions in operator basis. • Introducing various quasi-probability distributions (including the Wigner function) and investigating the fundamental relations between them, including specific examples for some basic states. • Introducing general measurements.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach der Teilnahme an den Vorlesungen und den dazugehörigen Übungen werden die Studierenden in der Lage sein: • in der Lage sein, quantenoptische Probleme in offenen Quantensystemen mathematisch zu modellieren • ein grundlegendes Verständnis der Phasenraummethoden in der Quantenoptik erlangen • können die geeigneten Methoden und Näherungen zur Lösung quantenoptischer Probleme in offenen Quantensystemen identifizieren

After attending the lectures and the associated exercise sessions, the students will:

- Be able to mathematically model quantum optics problems in open quantum systems
- Gain a basic yet fundamental understanding of phase-space methods in quantum optics
- Be able to identify the appropriate methods and approximations to solve quantum optics problems in open quantum systems

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sina Saravi
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** Noch nicht verfügbar **Methodische Umsetzung** Die theoretischen Konzepte werden in Form von Vorlesungen vermittelt. Die Übungen bestehen aus theoretischen Problemen, die mit den Konzepten aus der Vorlesung zusammenhängen und von den Studentinnen und Studenten mathematisch gelöst werden können. Die Lösungen werden später in den Übungssitzungen präsentiert. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Es werden Vorlesungsunterlagen ausgeteilt; Literaturempfehlungen werden in der ersten Vorlesung gegeben. **Module Homepage** Not yet available **Implementation** The theoretical concepts will be taught in a lecture format. The exercises consist of theoretical problems related to the concepts from the lecture, to be solved mathematically by the students, and later on the solutions will be presented in the exercise sessions. **Teaching Material, Literature** Lecture notes will be handed out; literature recommendations will be given in the first lecture.

Modern Semiconductor Lasers			
Modern Semiconductor Lasers			
Modulnummer / Module number: M.048.26012	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26012 Modern Semiconductor Lasers	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Empfohlen:
Vertrautheit mit grundlegenden Konzepten der Optik, Quantenmechanik und Halbleiterphysik ist jedoch sehr zu empfehlen.

None

Prerequisites of course Modern Semiconductor Lasers:
Recommended:
The familiarity with basic concepts from optics, quantum mechanics and semiconductor physics is highly recommended.

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Modern Semiconductor Lasers:
Halbleiterlaser sind zentrale Lichtquellen der modernen Photonik und ermöglichen Anwendungen, die von der optischen Kommunikation und Sensorik bis hin zu Quantentechnologien reichen. Neben einer Wiederholung der physikalischen Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs konzentriert sich dieser Kurs auf aktuelle Fortschritte und neue Entwicklungsrichtungen, die das Fachgebiet maßgeblich prägen. Die Teilnehmenden lernen neuartige Laserkonzepte kennen, die auf photonischen Kristallen, Nanophotonik, Spintronik, Topologie und nicht-hermitescher Physik basieren, sowie die theoretischen Ansätze, die zur Beschreibung dieser Bauelemente über die konventionelle Lasertheorie hinaus erforderlich sind.
Zu den behandelten Themen gehören:

- Grundlagen des Halbleiterlaserbetriebs: Verstärkungsmedien, Laserdynamik, Modulationsverhalten und Linienbreite
- Modernste Halbleiterlaser-Technologien und deren Leistungsgrenzen
- Oberflächenemittierende Laser auf Basis photonischer Kristalle (PCSELs) und skalierbare Einmoden-Hochleistungsemission
- Nanolaser, Hohlraum-Quantenelektrodynamik (Cavity QED) und schwellenloser Laserbetrieb
- Spinlaser und neue Ansätze zur ultraschnellen Informationskodierung
- Laser auf Basis gebundener Zustände im Kontinuum (BIC) und topologische Laser
- Aufstrebende Konzepte, darunter supersymmetrische, PT-symmetrische, Dirac-, polaritonische und plasmonische Laser
- Fortgeschrittene theoretische Themen: nicht-hermitesche Effekte, Quantenrauschen, komplexe Verstärkungsmedien und moderne numerische Verfahren für großskalige Lasersysteme

Contents of the course Modern Semiconductor Lasers:
Semiconductor lasers are the key light sources of modern photonics, enabling applications ranging from optical communications and sensing to quantum technologies. While reviewing the fundamental principles of semiconductor laser operation, this course focuses on recent advances and emerging directions that are reshaping the field. Participants will explore novel laser concepts based on photonic crystals, nanophotonics, spintronics, topology, and non-Hermitian physics, as well as the theoretical frameworks required to describe these devices beyond conventional laser theory.
Topics covered include:

- Fundamentals of semiconductor laser operation: gain media, laser dynamics, modulation response, and linewidth
- State-of-the-art semiconductor laser technologies and their performance limits
- Photonic-crystal surface-emitting lasers (PCSELs) and scalable single-mode high-power emission
- Nanolasers, cavity quantum electrodynamics, and thresholdless lasing
- Spin lasers and new approaches to ultrafast information encoding
- Bound-state-in-continuum (BIC) lasers and topological lasers
- Emerging concepts including supersymmetric, PT-symmetric, Dirac, polaritonic, and plasmonic lasers
- Advanced theoretical topics: non-Hermitian effects, quantum noise, complex gain media, and modern computational approaches for large-scale laser systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach erfolgreichem Abschluss dieses Kurses sind die Teilnehmenden in der Lage, die physikalischen Prinzipien zu erläutern, die dem Betrieb von Halbleiterlasern zugrunde liegen – einschließlich optischer Verstärkung, Laserdynamik, Modulationsverhalten und der Ursachen der Linienbreite. Sie können etablierte Halbleiterlaser-Technologien analysieren und vergleichen sowie deren Leistungsgrenzen bewerten. Darüber hinaus entwickeln die Teilnehmenden ein kritisches Verständnis für neuartige Laserkonzepte – wie etwa photonische Kristalllaser, Nanolaser, Spinlaser, BIC-Laser und topologische Laser – und können deren Funktionsweise mit aktuellen Konzepten der Photonik wie der Hohlraum-Quantenelektrodynamik, der nicht-hermiteschen Physik und der Topologie in Zusammenhang bringen. Schließlich machen sich die Teilnehmenden mit fortgeschrittenen theoretischen und numerischen Methoden zur Beschreibung moderner Halbleiterlaser vertraut und sind in der Lage, die aktuelle Forschungsliteratur auf diesem sich rasch entwickelnden Gebiet zu beurteilen.

Upon successful completion of this course, participants will be able to explain the physical principles governing semiconductor laser operation, including optical gain, laser dynamics, modulation response, and origin of linewidth. They will be able to analyze and compare established semiconductor laser technologies and evaluate their performance limitations. Furthermore, participants will develop a critical understanding of emerging laser concepts, including photonic-crystal, nano-, spin-, BIC, and topological lasers, and will be able to relate their operation to contemporary concepts in photonics such as cavity quantum electrodynamics, non-Hermitian physics, and topology. Finally, participants will gain familiarity with advanced theoretical and computational approaches used to describe modern semiconductor lasers and will be able to assess current research literature in this rapidly evolving field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

	None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mariusz Drong
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** `https://panda.uni-paderborn.de/` **Implementation** Lectures and exercises **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optical Communication A			
Optical Communication A			
Modulnummer / Module number: M.048.92019	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92019 Optical Communication A	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92019 Optical Communication A	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication A:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication A:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication A:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optische Nachrichtentechnik A vermittelt Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Optischen Nachrichtentechnik und der hierbei verwendeten optischen Komponenten. **Inhalt** Maxwell-Gleichungen, Wellenausbreitung, Polarisation, dielektrische Schichtwellenleiter und kreiszylindrische Wellenleiter, Dispersion, Laser, Photodioden, optische Verstärker, Modulation, Signalformate, optische Empfänger, Rauschen, Regeneratoren, Wellenlängenmultiplex. Hier werden die wichtigsten Zusammenhänge vermittelt. *Contents of the course Optical Communication A:* **Short Description** The lecture Optical Communication A gives basic knowledge in Optical Communication and the components used in this field. **Contents** Maxwell's equations, wave propagation, polarization, dielectric slab and cylindrical waveguides, dispersion, laser, photodiodes, optical amplifiers, modulation, signal formats, optical receivers, noise, regenerators, wavelength division multiplex. Here the most important knowledge is taught.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden **Professional Competence** After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to • describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and • apply knowledge of optoelectronics **(Soft) Skills** The students • are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines, • are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and • are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Reinhold Noé

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication A:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://ont.upb.de` **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag *Remarks of course Optical Communication A:* **Course Homepage** `http://ont.upb.de` **Teaching Material, Literature** Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt): • R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optical Communication B			
Optical Communication B			
Modulnummer / Module number: M.048.92020	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92020 Optical Communication B	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92020 Optical Communication B	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication B:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication B:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication B:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optische Nachrichtentechnik B vermittelt Kenntnisse auf dem Gebiet der Modenkopplung in der Optischen Nachrichtentechnik und erklärt damit die Funktion vieler optischer Komponenten. **Inhalt** Modenkopplung: Polarisationsmodendispersion, Modenorthogonalität, konstante und periodische, ko- und kontradirektionale Modenkopplung, Profile differentieller Gruppenlaufzeit, elektrooptischer Effekt. Die Funktion vieler passiver und aktiver optischer Elemente wird so erklärt, u.a. Amplituden- und Phasenmodulatoren, breitbandige und wellenlängenselektive Koppler, Bragg-Gitter, polarisationserhaltende Lichtwellenleiter, Polarisationstransformatoren, Entzerrer für Polarisationsmodendispersion und chromatische Dispersion. *Contents of the course Optical Communication B:* **Short Description** The lecture Optical Communication B gives some knowledge about mode coupling in Optical Communication and explains the function of many optical components. **Contents** Mode Coupling: Polarization mode dispersion, moden orthogonality, constant and periodic, co- and counterdirectional mode coupling, profiles of differential group delay, electrooptic effect. The function of many passive and active optical elements is thereby explained, among others amplitude and phase modulators, broadband and wavelength-selective couplers, Bragg gratings, polarization-maintaining fibers, polarization transformers, equalizers for polarization mode dispersion and chromatic dispersion.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einsetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Professional Competence
After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to

- describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and
- apply knowledge of optoelectronics

(Soft) Skills
The students

- are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines,
- are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and
- are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Reinhold Noé
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication B:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lehrveranstaltungsseite** `http://ont.upb.de` **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication B:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optical Communication C			
Optical Communication C			
Modulnummer / Module number: M.048.92021	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92021 Optical Communication C	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92021 Optical Communication C	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication C:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication C:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication C:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung und Übung Optische Nachrichtentechnik C vermittelt Kenntnisse über verschiedene optische Modulations- und Demodulationsverfahren. **Inhalt** Modulationsverfahren: Datenübertragung mit differentieller binärer und quaternärer Phasenumtastung und optischen Verstärkern, Polarisationsmultiplex, kohärente optische Datenübertragung, Synchrondemodulation, Asynchrondemodulation, kohärente Basisbandempfänger, Polarisationsdiversität, elektronische Kompensation optischer Verzerrungen wie z.B. elektronische Polarisationregelung und elektronische Kompensation von Polarisationsmodendispersion und chromatischer Dispersion, Phasenrauschen, weitere Modulationsverfahren. Fortschrittliche Modulationsverfahren sind eine wichtige Möglichkeit zur Weiterentwicklung leistungsfähiger optischer Nachrichtenübertragungssysteme. *Contents of the course Optical Communication C:* **Short Description** The lecture Optical Communication C gives knowledge in various optical modulation and demodulation techniques. **Contents** Modulation Formats: Data transmission by differential binary and quaternary phase shift keying in the presence of optical amplifiers, polarization division multiplex, coherent optical data transmission, synchronous and asynchronous demodulation, coherent baseband receivers, polarization diversity, electronic compensators of optical distortions like electronic polarization control and electronic compensation of polarization mode dispersion and chromatic dispersion, phase noise, other modulation formats. Advanced modulation formats are an important possibility for the upgrading of high-performance optical information transmission systems.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einsetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Professional Competence
After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to

- describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and
- apply knowledge of optoelectronics

(Soft) Skills
The students

- are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines,
- are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and
- are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Reinhold Noé
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication C:* --- **ACHTUNG - WICHTIGER HINWEIS** Die Lehrveranstaltung findet im WiSe 2026/27 bzw. im SoSe 2026 nicht statt. Bitte beachten Sie auch die Aushänge im Fachgebiet. --- **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication C:

ATTENTION - IMPORTANT NOTICE
The course doesn't take place in winter term 2026/27 summer term 2026. Please see the notice boards of the group.

Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optical Communication D			
Optical Communication D			
Modulnummer / Module number: M.048.92022	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92022 Optical Communication D	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92022 Optical Communication D	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optical Communication D:
Keine

None

Prerequisites of course Optical Communication D:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optical Communication D:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optische Nachrichtentechnik D vermittelt Kenntnisse über nichtlineare optische Verzerrungen in Lichtwellenleitern, elektronische Detektion linearer Verzerrungen, außerdem Polarisationsverwürfelung. **Inhalt** Ausgewählte Kapitel in Optischer Nachrichtentechnik: Nichtlineare Verzerrungen in Lichtwellenleitern und ihre Polarisationsabhängigkeit, elektronische Detektion linearer optischer Verzerrungen, Polarisationsverwürfelung, ... Nichtlineare Verzerrungen haben große Praxisbedeutung und sind schwierig zu beherrschen. Die Studenten sollten außerdem Themen ihrer Wahl vorbereiten und den anderen vortragen. *Contents of the course Optical Communication D:* **Short Description** The lecture Optical Communication D gives knowledge about nonlinear optical effects in waveguides, their electronical detection, furthermore polarization scrambling. **Contents** Selected Topics in Optical Communication: Nonlinear distortions in glass fibers and their polarization dependence, electronic detection of linear optical distortions, polar-ization scrambling, ... Nonlinear distortions are important in practice and difficult to handle. The stu-dents should also prepare topics of their choice and present them to the others.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, im behandelten Umfang • die Funktionsweise von Komponenten, Phänomenen und Systemen der Optischen Nachrichtentechnik zu verstehen, modellieren und anzuwenden und • Kenntnisse der Optoelektronik anzuwenden. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend einzusetzen, • können methodenorientiertes Vorgehen bei der systematischen Analyse einsetzen und • sind durch die abstrakte und präzise Behandlung der Inhalte in der Lage, sich selbst weiterzubilden

Professional Competence
After attending the course, the students will be able, in the taught subjects, to

- describe, model and apply the function of components, systems and effects of optical communications and
- apply knowledge of optoelectronics

(Soft) Skills
The students

- are able to apply the knowledge and skills to a wide range of disciplines,
- are able to make use of a methodical procedure when undertaking systematic analysis and
- are, due to the abstract and precise treatment of the contents, in a position to continue and develop their learning themselves

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Reinhold Noé
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Optical Communication D:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://ont.upb.de` **Lernmaterialien, Literaturangaben** Skripte, Übungsblätter und weiterführende Literatur (Auszug): • R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7 • Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002 • D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik • W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik • G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen) • K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992 • H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter) • Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik) • R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Remarks of course Optical Communication D:
Course Homepage
`http://ont.upb.de`
Teaching Material, Literature
Scripts, exercise sheets and advanced literature (excerpt):

- R. Noe, Essentials of Modern Optical Fiber Communication, Springer, 2. Auflage / 2nd Edition, 2016, ISBN 978-3-662-49621-3, ISBN ISBN 978-3-662-49623-7
- Petermann/Voges, Optische Kommunikationstechnik, Springer-Verlag (modernes Nachschlagewerk) 2002
- D. As, Univ. Paderborn, Vorlesung Optoelektronik
- W. Sohler, Univ. Paderborn, Vorlesung Integrierte Optik
- G. Grau, W. Freude, Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1991, (umfassend, viele Zwischenschritte fehlen)
- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, Springer-Verlag, Heidelberg, 1992
- H.-G. Unger, Optische Nachrichtentechnik, Teile I und II, Hüthig-Verlag Heidelberg, 1984 und 1985, (Schwerpunkt optische Wellenleiter)
- Yariv, Optical Electronics, Holt, 1984 (und weitere Werke, sehr physikalisch, kaum Nachrichtentechnik)
- R. Th. Kersten, Einführung in die Optische Nachrichtentechnik, Springer-Verlag

Optoelectronics			
Optoelectronics			
Modulnummer / Module number: M.048.26011	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.26011 Optoelectronics	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optoelectronics:
Keine

None

Prerequisites of course Optoelectronics:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optoelectronics:* **Kurzbeschreibung** Die Vorlesung Optoelectronics vermittelt alle grundlegenden Aspekte optoelektronischer Bauelemente, beginnend bei den Halbleitermaterialien und deren Wechselwirkung mit Licht bzw. Photonen, über die elektronischen Aspekte der Bauelemente bis hin zur Nutzung quantenmechanischer Effekte zur Optimierung moderner Bauelemente für die jeweiligen Anwendungsgebiete, wie z.B. in Beleuchtungssystemen, zur Bereitstellung erneuerbarer Energie, für breitbandige optische Kommunikationssysteme oder in der Medizintechnik. **Inhalt** Im ersten Teil der Vorlesung werden die Grundlagen von Halbleitern (Gitterstruktur, Bandstruktur, direkt-indirekte Halbleiter, Dotierung, entartete und nicht entartete Halbleiter, Heterostrukturen, Quanteneffekte in niederdimensionalen Halbleitern) rekapituliert. Anschließend werden die elementaren Wechselwirkungen zwischen Licht und Halbleitern (Absorption, stimulierte Emission, spontane Emission) und die elektronischen Aspekte der Bauelemente (p-n-Übergang, Heteroübergänge) behandelt. Anschließend werden die wichtigsten Bauelemente: Solarzellen, Photodioden, Leuchtdioden und Halbleiterlaser detailliert besprochen und ihre wichtigsten Parameter und Optimierungsstrategien diskutiert. *Contents of the course Optoelectronics:* **Short description** The lecture Optoelectronics covers the fundamental aspects of optoelectronic devices, starting with semiconductor materials and their interaction with light and photons, to the electronic aspects of the components, and finally to the use of quantum mechanical effects to optimise modern components for their respective areas of application, such as in lighting systems, renewable energy, broadband optical communication systems or in medical technology. **Contents** In the first part of the lecture, the basics of semiconductors (lattice structure, band structure, direct-indirect semiconductors, doping, degenerate and non-degenerate semiconductors, heterostructures, quantum effects in low-dimensional semiconductors) are recapitulated. The elementary interactions between light and semiconductors (absorption, stimulated emission, spontaneous emission) and the electronic aspects of the components (p-n junction, heterojunctions) are then covered. Finally, the most important devices such as solar cells, photodiodes, light-emitting diodes and semiconductor lasers are discussed in detail and their most important parameters and optimisation strategies are explained.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die grundlegenden physikalischen Eigenschaften von optoelektronischen Halbleiterbauelementen auf der Grundlage klassischer und grundlegender quantenmechanischer Beschreibungen zu erklären,
- die wichtigsten Konzepte von optoelektronischen Halbleiterbauelementen (Fotodioden, Solarzellen, Leuchtdioden, Halbleiterlaser) zu beschreiben,
- und verschiedene Bauelementdesigns entsprechend ihren Anwendungsanforderungen zu kategorisieren.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können methodisches Wissen für die systematische Problemanalyse in einer Vielzahl von Disziplinen nutzen,
- werden in der Lage sein, sich dank der umfassenden Grundausbildung selbstständig in neue Generationen von Halbleiterbauelementen einzuarbeiten,
- werden mit Ratengleichungsmodellen zur Simulation stationärer und dynamischer Eigenschaften in gekoppelten Systemen vertraut gemacht,
- und erwerben fachbezogene Fremdsprachenkompetenzen.

Domain competence:
After attending the course, the students will be able to

- explain the basic physical properties of optoelectronic semiconductor devices based on classical and fundamental quantum mechanical descriptions,
- to describe the main concepts of optoelectronic semiconductor devices (photodiodes, solar cells, light emitting diodes, semiconductor lasers),
- categorize different device designs according to their application requirements.

Key qualifications:
The students

- can use of methodic knowledge for systematic problem analysis for a wide range of disciplines,
- will be in position to familiarise themselves independently with new generations of semiconductor devices, thanks to the comprehensive fundamental training received,
- get familiar to rate-equation models to simulate steady-state and dynamic characteristics in coupled systems,
- and gain foreign language competences related to the field.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Nils Christopher Gerhardt
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Lehrveranstaltungsseite** [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Modulseite** wird bei Vorlesungsstart bekannt gegeben **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsskript und Handouts zum Tutorial; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben

	Course Homepage [https://ei.uni-paderborn.de/hob/lehre] **Module Homepage** to be announced at the start of the lecture **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture notes and handouts for the tutorial; literature references will be given in the first lecture

Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Theory and Design of Integrated Photonic Devices			
Modulnummer / Module number: M.048.26013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-.3 Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:
Empfohlen:

- Wissen über elektromagnetische Felder und Wellen
- Erfahrung mit MATLAB-/Python-Skripting wäre von Vorteil

	None *Prerequisites of course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* **Recommended:** Knowledge on electromagnetic fields and waves Experience with MATLAB/Python scripting would be beneficial
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Theory and Design of Integrated Photonic Devices:* • Einführung – Historische Entwicklung der integrierten Photonik und ihre heutige Bedeutung – Kurzer Überblick über die erforderlichen theoretischen Grundlagen * Elektromagnetische Wellen und Maxwell-Gleichungen * Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in verschiedenen Medien • Theorie optischer Wellenleiter: Bauelement Nr. 0 – Analyse eindimensionaler (1D) Wellenleiter * Strahlenoptisches Modell * Vektorwellengleichung und Randbedingungen – Analyse zweidimensionaler (2D) Wellenleiter * Überblick über Wellenleiterplattformen und die Methode des effektiven Brechungsindex * Überblick über die vollvektorielle Methode * Dispersion, Polarisation und Orthogonalität geführter Moden • Theorie gekoppelter Moden: analytische Formulierung • Passive integriert-photonische Bauelemente – Richtkoppler (DC): Bauelement Nr. 1 – Multimoden-Interferometer (MMI): Bauelement Nr. 2 – Verteilter Bragg-Reflektor (DBR): Bauelement Nr. 3 • Abstimmbare/aktive integriert-photonische Bauelemente – Mach-Zehnder-Interferometer (MZI) / -Modulator (MZM): Bauelement Nr. 4 – Mikroringresonatoren (MRR) / -Modulator (MRM): Bauelement Nr. 5 – Überblick über Phasenschieber: thermisch, elektro-optisch und MEMS-basiert • Fertigungsvariabilität und Toleranzen integriert-photonischer Bauelemente • Überblick über die Analyse photonischer integrierter Schaltkreise (PICs), Einführung in die Kompaktmodellierung und die elektronisch-photonische Entwurfsautomatisierung (EPDA)

Contents of the course Theory and Design of Integrated Photonic Devices:

- Introduction
  - Historical evolution of integrated photonics and relevance in today's world
  - Brief overview on the required background theory
    - Electromagnetic waves and Maxwell's equations
    - EM waves propagation in different media
- Theory of optical waveguides: Device #0
  - 1-D waveguide analysis
    - Ray optics model
    - Vector wave equation and boundary conditions
  - 2-D waveguide analysis
    - Overview of waveguide platforms and effective index method
    - Overview of the full vectorial method
    - Dispersion, polarization and orthogonality of guided modes
- Coupled-mode theory: analytical formulation
- Passive integrated photonic devices
  - Directional coupler (DC): Device #1
  - Multi-mode interferometers (MMI) : Device #2
  - Distributed Bragg reflector (DBR): Device #3
- Tunable/active integrated photonic devices
  - Mach-Zehnder interferometer (MZI) / modulator (MZM): Device #4
  - Microring resonators (MRR) / modulator (MRM): Device #5
  - Overview of phase shifters: thermal, electro-optic and MEMS-based
- Fabrication variability and tolerances of the integrated photonic devices
- Overview of photonic integrated circuit (PIC) analysis, introduction to compact-modeling and electronic-photonic design automation (EPDA)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Verständnis der Funktionsweise und der theoretischen Grundlagen integrierter photonischer Bauelemente, der bei deren Design bestehenden Einschränkungen sowie der Strategien zu deren Überwindung.

Understanding the working and fundamental theory of integrated photonic devices, constraints involved in the device designs and overcoming strategies.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	Type of examination	Duration or scope	Weighting for the module grade
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:** keine none
8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Informationstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Ashitosh Velamuri
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungsaufgaben; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben **Module Homepage** **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

3.6 ET-Katalog Prozessdynamik

Advanced System Theory			
Advanced System Theory			
Modulnummer / Module number: M.048.92001	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 1. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2V 2Ü, WS/SS	60	120	P	60/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.92001 Advanced System Theory	2L 2Ex, WS/SS	60	120	C	60/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:
Empfohlen:
Voraussetzung ist ein Grundverständnis von Differentialgleichungen, linearer Algebra und Laplace-Transformationen, wie sie in einem typischen Grundstudium der Systemtheorie behandelt werden.

	None *Prerequisites of course Advanced System Theory:* **Recommended:** Prerequisites are a basic understanding of differential equations, linear algebra, and Laplace transforms, as they are covered in a typical undergraduate course on system theory.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Kurzbeschreibung** Aufbauend auf einem Grundkurs in Systemtheorie behandelt dieser Kurs das dynamische Verhalten linearer Systeme mit größerer mathematischer Sorgfalt. Der Kurs ist in erster Linie für Studierende der Ingenieurwissenschaften gedacht, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften nützlich sein. **Inhalte** Systemmodelle und Differentialgleichungen • Zustandsraum- und E/A-Beschreibungen • Beziehungen zwischen internen und externen Beschreibungen • Reaktion von Systemen mit kontinuierlicher und diskreter Zeit • Stabilität, Kontrollierbarkeit, Beobachtbarkeit • Zustandsraumrealisierungen von externen Beschreibungen *Contents of the course Advanced System Theory:* **Short Description** Building on an undergraduate system theory course, this course studies the dynamical behavior of linear systems with greater mathematical rigor. The course is primarily intended to serve students in engineering, but it can also be useful to students in physics and other natural sciences. **Contents** • System models and differential equations • State-space and I/O descriptions • Relations between internal and external descriptions • Response of continuous- and discrete-time systems • Stability, controllability, observability • State-space realizations of external descriptions
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch dieser Veranstaltung sind die Studenten mit den wichtigsten Konzepten und Ergebnissen der linearen Systemtheorie vertraut. Studenten werden das Vertrauen entwickeln, mathematische Probleme in Analyse und Design lösen zu können. Dieser Kurs soll ihnen Intuition und Gespür für das dynamische Verhalten linearer Systeme vermitteln, auf das sie später zurückgreifen können. Dieser Kurs behandelt Material in ausreichender Breite, so dass Studenten ein klares Bild vom dynamischen Verhalten linearer Systeme, einschließlich ihrer Leistungsfähigkeit und Grenzen, bekommen. Dadurch können Studenten die Theorie in anderen Gebieten anwenden. After attending this course, students will be familiar with the most important concepts and results in linear system theory. Students will develop confidence in their ability to solve mathematical problems of analysis and design. Many of their timeless insights and intuitions about the dynamical behavior of systems will be drawn from this course. This course presents material broad enough so that students will have a clear understanding of the dynamical behavior of linear systems, including their power and limitations. This will allow students to apply the theory to other fields.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Erdal Kayacan

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced System Theory:* **Lehrveranstaltungsseite** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) Panda-Kurs für Kommunikation und Organisation **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts und Übungs-/Tutoriumsfragen; Literaturhinweise werden in der ersten Vorlesung gegeben *Remarks of course Advanced System Theory:* **Course Homepage** `https://en.ei.uni-paderborn.de/rat` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) Panda course for communication and material distribution **Teaching Material, Literature** Handouts and exercise / tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Gekoppelte Felder			
Coupled Fields			
Modulnummer / Module number: M.048.27028	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27028 Gekoppelte Felder	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27028 Coupled Fields	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder:
Empfohlen: Grundkenntnisse aus dem Bereich der klassischen Feldtheorie, zum Beispiel aus den Modulen “Feldtheorie”, “Elektromagnetische Wellen” und “Theoretische Elektrotechnik”.

None

Prerequisites of course Gekoppelte Felder:
Recommended: Basic knowledge from the area of classical field theory, for example from the modules “Field Theory”, “Electromagnetic Waves” and “Theoretical Electrical Engineering”.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder:* Fokus der Lehrveranstaltung Gekoppelte Felder ist die klassische feldtheoretische Betrachtung interagierender elektromagnetischer, thermischer und mechanischer Phänomene sowie deren Anwendung in der Sensorik und Aktorik. Nach einer Einführung in die mathematische Beschreibung der einzelnen Feldgrößen werden folgende Themen behandelt: • Elektromechanische Kopplung an den Beispielen des piezoelektrischen Effekts, der Elektrostriktion und der Magnetostriktion. • Thermomechanische Kopplung am Beispiel der Thermoelastizität sowie bei der Beschreibung verlustbehafteter akustischer Wellen. • Thermoelektrische Kopplung am Beispiel der Pyroelektrizität. • Phänomene mit elektromagnetisch-thermisch-mechanischer Kopplung wie der photoakustische Effekt. Neben der Beschreibung der Effekte wird auf Analogien, Gemeinsamkeiten und Unterschiede eingegangen sowie Aspekte der numerischen Simulation besprochen. *Contents of the course Gekoppelte Felder:* The focus of the course Coupled Fields is the classical field theory of interacting electromagnetic, thermal and mechanical phenomena as well as their application in sensors and actuators. After an introduction to the mathematical description of the individual fields, the following topics are covered: • Electromechanical coupling based on examples in piezoelectricity, electrostriction and magnetostriction. • Thermomechanical coupling such as thermoelasticity and lossy acoustic waves. • Thermoelectric coupling, for example pyroelectricity. • Phenomena with electromagnetic-thermal-mechanical coupling such as the photoacoustic effect. In addition to the description of the effects, analogies as well as similarities and differences are considered and aspects of numerical simulation are discussed.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach dem Besuch der Lehrveranstaltung sind die Studenten in der Lage, • die Wirkungsweise der besprochenen physikalischen Effekte phänomenologisch und auf Differentialgleichungsebene zu beschreiben. • Ergebnisse numerischer Simulationen verkoppelter Felder zu interpretieren und auf Plausibilität zu Prüfen. • für sensorische und aktorische Anwendungen verkoppelter Felder geeignete Komponenten auszuwählen. • aus Beobachtungen Rückschlüsse auf den zugrundeliegenden physikalischen Effekt zu ziehen. After attending the course, students will be able to • describe the discussed physical effects phenomenologically and with differential equations. • interpret the results of numerical simulations of coupled fields and check them for plausibility. • select suitable components for sensor and actuator applications of coupled fields. • infer an acting physical effect from observations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

Vom jeweiligen Lehrenden wird spätestens in den ersten drei Wochen der Vorlesungszeit bekannt gegeben, wie die Prüfungsleistung konkret zu erbringen ist.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

Within the first three weeks of the lecture period each respective lecturer will specify the manner in which the examination will be conducted.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Leander Claes
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `https://emt.upb.de` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Vorlesungsfolien sowie Übungsaufgaben werden bereitgestellt. Auf ergänzende Fachliteratur wird im Verlauf der Veranstaltung hingewiesen. **Module Homepage** `https://emt.upb.de` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Lecture slides and exercises will be provided. Additional literature references will be given throughout the course.

Regelung elektrischer Antriebe			
Control of Electric Drives			
Modulnummer / Module number: M.048.27013	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27013 Regelung elektrischer Antriebe	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27013 Control of Electric Drives	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:
Empfohlen:

- Grundlagen Regelungstechnik
- Grundlagen elektrische Maschinen
- Grundlagen Leistungselektronik

	None *Prerequisites of course Regelung elektrischer Antriebe:* **Recommended:** • basics of control theory • basics of electrical machines • basics of power electronics
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung vermittelt die Regelung von elektrischen Maschinen (Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Asynchronmaschinen). Die vermittelten Inhalte werden in Simulationen im Rahmen der Übungen überprüft. **Inhalt** • Maschinenmodelle (Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen) • Koordinatentransformationen • Feldorientierte Regelung für die untersuchten Maschinen • Beobachter • Fortgeschrittene Regelungsansätze (direct torque control, modellprädiktive Regelung) *Contents of the course Regelung elektrischer Antriebe:* **Short Description** The course teaches the closed-loop control for electrical machines (DC machines, synchronous machines, and induction machines). The presented content is tested in simulations within the exercises. **Contents** • machine models (dc machines, synchronous machines, and induction machines) • coordinate transformations • field-oriented control for particular machines • observers • advanced control techniques (direct torque control, model-predictive control)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls können die Studierenden: • die Funktionsweise elektrischer Antriebe (basierend auf Gleichstrommaschinen, Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen) zu erklären • ein Simulationsmodell für die Zielanwendung aufzubauen • ein geeignetes Steuerungssystem für die jeweiligen elektrischen Maschinen zu entwerfen und als Simulationsmodell zu implementieren

After successfully completing the module, students will be able to

- explain the functionality of electric drives (based on dc machines, synchronous machines, and induction machines)
- set up a simulation model for the target application
- design a suitable control system for the particular electric machines and implement it as a simulation model

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Jakub Kucka
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Regelung elektrischer Antriebe:* **Methodische Umsetzung** Teile der Veranstaltung werden als Simulationsübung durchgeführt. **Material** Vorlesungsfolien. *Remarks of course Regelung elektrischer Antriebe:* **Implementation** Parts of the course are organized as computer-based simulation exercises. **Teaching Material** Lecture slides.

Nonlinear control of autonomous and robotic systems

Nonlinear control of autonomous and robotic systems

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.048.27032	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1.-3. Semester	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems	2V 2Ü, SS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems	2L 2Ex, SS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

None

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Nonlinear control of autonomous and robotic systems:
Empfohlen:
Vorausgesetzt wird ein grundlegendes Verständnis der linearen Algebra, der linearen Systemtheorie und der Regelungstechnik, wie es typischerweise in einem Bachelor-Modul zur Regelungstechnik vermittelt wird.

	None *Prerequisites of course Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* **Recommended:** Prerequisites are a basic understanding of linear algebra, linear system theory, and control theory as they are covered in a typical undergraduate course on control theory.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* Aufbauend auf einem Bachelor-Modul zur Regelungstechnik führt dieser Kurs in die Analyse und Regelung nichtlinearer dynamischer Systeme ein. Der Schwerpunkt liegt auf grundlegenden Konzepten und Methoden der nichtlinearen Regelungstechnik, mit besonderem Fokus auf deren Anwendung in autonomen Systemen und der Robotik. Der Kurs richtet sich in erster Linie an Studierende der Ingenieurwissenschaften, kann aber auch für Studierende der Physik und anderer Naturwissenschaften von Nutzen sein. Inhalte • Modellierung nichtlinearer Systeme und Zustandsraumdarstellungen • Phasenebenenanalyse und Systemverhalten nichtlinearer Systeme • Ruhelagen (Gleichgewichtspunkte) und lokale Stabilitätsanalyse • Ljapunow-Stabilitätstheorie (Lyapunov-Stabilität) • Exakte Linearisierung (Feedback-Linearisierung) und nichtlinearer Reglerentwurf • Anwendungen der nichtlinearen Regelung in autonomen und robotischen Systemen *Contents of the course Nonlinear control of autonomous and robotic systems:* Building on an undergraduate control theory course, this course introduces the analysis and control of nonlinear dynamical systems. The course focuses on fundamental nonlinear control concepts and methods, with particular emphasis on their application to autonomous and robotic systems. It is primarily intended for engineering students but may also be useful to students in physics and other natural sciences. Contents • Nonlinear system modeling and state-space representations • Phase-plane analysis and nonlinear system behavior • Equilibrium points and local stability analysis • Lyapunov stability theory • Feedback linearization and nonlinear controller design • Nonlinear control applications in autonomous and robotic systems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** - -

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.
Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen (MTP) bestanden sind.

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
The credit points are awarded after all module examinations (MTP) were passed.

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Modulseite
`http://sst.upb.de/teaching`
Methodische Umsetzung
Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner)
Lernmaterialien, Literaturangaben
Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Module Homepage
`http://sst.upb.de/teaching`
Implementation
Lectures and exercises (including some computer simulations)
Teaching Material, Literature
Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulteilprüfungen (MTP) bestanden sind. The credit points are awarded after all module examinations (MTP) were passed.
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Erdal Kayacan
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `http://sst.upb.de/teaching` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture **Module Homepage** `http://sst.upb.de/teaching` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Optimization-Based Control Methods			
Optimization-Based Control Methods			
Modulnummer / Module number: M.048.27031	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27031 Optimization-Based Control Methods	2V 2Ü, WS	60	120	P	30/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27031 Optimization-Based Control Methods	2L 2Ex, WS	60	120	C	30/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Optimization-Based Control Methods:
Keine

None

Prerequisites of course Optimization-Based Control Methods:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Optimization-Based Control Methods:* Der Kurs beginnt mit dem Bellmanschen Optimalitätsprinzip und führt in die Grundlagen der Dynamischen Programmierung (DP) zur Lösung von Optimierungsproblemen mit endlichen und unendlichen Zeithorizonten ein. Auf der Grundlage dieses Rahmens werden die Studierenden optimale Steuerungsprobleme mit endlichen und unendlichen Horizonten untersuchen und lernen, wie man DP auf reale Steuerungsprobleme anwendet. Ein bedeutender Teil des Kurses ist dann linearen quadratischen Reglern (LQR) und linearen quadratischen Schätzern (LQE) gewidmet, wobei der Schwerpunkt auf dem Entwurf von Reglern mit optimaler Zustandsrückführung für lineare Systeme liegt. Das LQG kombiniert dann LQR und LQE zu einem robusten Framework für Gaußsches Zustands- und Messrauschen. Zur Behandlung von Optimierungsproblemen mit Zustands- und Eingabebeschränkungen werden die Studierenden in die quadratische Programmierung (QP) und die Grundlagen der konvexen Optimierung eingeführt. Diese Methoden sind für reale Regelungsprobleme mit Beschränkungen für Systemeingang und -zustände unerlässlich. Ein Abschnitt über Modell Prädiktive Regelung (MPC) konzentriert sich dann auf den Entwurf optimaler Regelungsstrategien für beschränkte lineare Systeme, indem eine Reihe von Optimierungsproblemen in Echtzeit gelöst werden. Der Kurs befasst sich anschließend mit der approximativen dynamischen Programmierung (ADP) und ihrer Verbindung zu MPC, wobei Methoden zur Annäherung an optimale Lösungen für rechnerisch schwer lösbare Probleme unter Verwendung traditioneller DP-Techniken untersucht werden. Schließlich werden die Studierenden moderne Methoden für den Entwurf von Convex Optimization Control Policies anwenden und lernen, effiziente und skalierbare Regelungslösungen unter Verwendung von Konvexität und Optimierungsproblemen zu erstellen. Wenn es die Zeit erlaubt, wird der Kurs mit einer kurzen Einführung in Proximal Policy Optimization Methoden abgeschlossen. *Contents of the course Optimization-Based Control Methods:* The course begins with Bellman's Principle of Optimality and introduces the foundations of Dynamic Programming (DP) techniques for solving optimization problems in finite and infinite time horizons. Based on this framework, students will study Finite and Infinite Horizon Optimal Control Problems, learning how to apply DP to real-world control problems over different time scales. A significant portion of the course is then devoted to linear quadratic regulator (LQR) and linear quadratic estimator (LQE) problems, focusing on designing Optimal State Feedback controllers and estimators for linear systems. The linear quadratic Gaussian (LQG) framework then combines LQR and LQE into a robust framework for Gaussian state and measurement noise. To address optimization problems with state and input constraints, students will be introduced to Quadratic Programming (QP) and the fundamentals of Convex Optimization, which are essential for handling real-world control applications that impose limits on system inputs and states. A section on Model Predictive Control (MPC) will then focus on designing optimal control strategies for constrained linear systems by solving a series of optimization problems in real-time, offering a bridge between theory and industrial applications. The course then covers Approximate Dynamic Programming (ADP) and its connection to MPC, exploring methods to approximate optimal solutions for computationally intractable problems using traditional DP techniques. Lastly, students will use modern methods for designing Convex Optimization Control Policies, learning to create efficient and scalable control solutions using convexity and optimization frameworks. Finally, if time permits, the course will close with a short introduction to Proximal Policy Optimization methods.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** - -

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Dr. Adrian Redder

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Modulseite** `http://sst.upb.de/teaching` **Methodische Umsetzung** Vorlesung mit Übung (teilweise mit Simulationen am Rechner) **Lernmaterialien, Literaturangaben** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture **Module Homepage** `http://sst.upb.de/teaching` **Implementation** Lectures and exercises (including some computer simulations) **Teaching Material, Literature** Handouts and tutorial questions; literature references will be given in the first lecture

Technische Akustik			
Technical Acoustics			
Modulnummer / Module number: M.048.27022	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27022 Technische Akustik	2V 2Ü, WS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27022 Technical Acoustics	2L 2Ex, WS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Technische Akustik:
Keine

None

Prerequisites of course Technische Akustik:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Technische Akustik:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung Technische Akustik konzentriert sich auf die Vermittlung der Grundlagen der Akustik mit dem Schwerpunkten Modellierung und Simulation von Schallausbreitung. **Inhalt** Die Vorlesung Technische Akustik behandelt folgende Themen: • Akustische und Schallfeldkenngrößen • Grundlagen der Wellenausbreitung • Hörakustik • Wellengleichungen • Modellierung • Elektro-akustische sowie akusto-elektrische Kopplungen • Analytische und numerische Simulation der Schallausbreitung • Materialdaten • Technische Schallquellen (Eigenschaften) • Schallfeldvisualisierung (zur Verifikation) *Contents of the course Technische Akustik:* **Short Description** The course Technical Acoustics concentrates on teaching the basics of acoustics with a focus on modelling and simulation of sound propagation. **Contents:** The lecture Technical Acoustics is structured as follows • Acoustic and sound field characteristics • Fundamentals of wave propagation • Hearing acoustics • Wave equations • Modelling • Electro-acoustic as well as acoustic-electric couplings • Material data • Technical sound sources (properties) • Sound field visualisation (for verification)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** **Fachkompetenz:** Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage, • Schallausbreitungsvorgänge in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen mathematisch zu beschreiben und mittels analytischer oder numerischer Simulation zu analysieren. **Fachübergreifende Kompetenzen:** Die Studierenden • können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend und bei komplexen Fragestellungen einsetzen, • können aufgrund einer systematischen Problemanalyse zielgerichtet Lösungen erarbeiten, • sind aufgrund der methodenorientierten Wissensvermittlung befähigt, sich selbst in tangierende Arbeitsgebiete einzuarbeiten.

Domain competence:
After attending the course, students are able to

- describe sound propagation processes in solids, liquids and gases mathematically and analyse them by means of analytical or numerical simulation.

Key qualifications:
The Students

- can apply the acquired knowledge and skills in an interdisciplinary manner and with complex issues,
- are able to develop targeted solutions based on systematic problem analysis,
- are capable of familiarising themselves with relevant fields of work due to the method-oriented knowledge transfer.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1).

	The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bernd Henning
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Technische Akustik:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://emt.upb.de` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Folien-Präsentation umfangreicher Zusammenhänge, • Praktische Arbeit in Gruppen mittels Messtechnik im Labor **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher aus der Lehrbuchsammlung werden bekannt gegeben. *Remarks of course Technische Akustik:* **Course Homepage** `http://emt.upb.de` **Implementation** • Lectures with slide presentation of extensive contexts, • Practical work in groups using measurement techniques in the laboratory **Teaching Material, Literature** • Provision of a script; references to textbooks from the textbook collection will be announced.

Ultraschallmesstechnik			
Ultrasonic measurement technology			
Modulnummer / Module number: M.048.27015	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: de	**Studiensemester / Semester number:** 1.-3. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.048.27015 Ultraschallmesstechnik	2V 2Ü, SS	60	120	P	40/40

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.048.27015 Ultrasonic Measurement Technology	2L 2Ex, SS	60	120	C	40/40

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:
Keine

None

Prerequisites of course Ultraschallmesstechnik:
None

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:* **Kurzbeschreibung** Die Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik beschäftigt sich mit den Phänomenen der Ausbreitung mechanischer Wellen in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen. Darauf aufbauend werden die wichtigsten akustischen Messprinzipien zur Bestimmung akustischer Stoffkenngrößen, geometrischer und technischer Prozessgrößen sowie deren Anwendung in der Prozess- und Fertigungstechnik beschrieben. Die Anwendung von Schall und Ultraschall für die zerstörungsfreie Werkstoffdiagnostik sowie für die Ultraschall-Tomografie werden detailliert behandelt. **Inhalt** Die Vorlesung Ultraschallmesstechnik behandelt folgende Themen: • Akustische und Schallfeldkenngrößen • Grundlagen der Wellenausbreitung • Ultraschallsensordesign (experimentelle Realisierung) • Methoden zur Messung und Visualisierung von Ultraschallfeldern (Nadel- und Membranhydrophon, Schlierenmessplatz, Laservibrometrie. . .) • Messtechnische Methoden zur akustischen Materialdatenbestimmung (Schallgeschwindigkeit, Schallkennimpedanz. . .) • Anwendung von Ultraschall zur Zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (NDT) und Schallemissionsanalyse • Anwendung von Ultraschall und in der Prozessmesstechnik (Abstand, Durchfluss, Füllstand. . .) *Contents of the course Ultraschallmesstechnik:* **Short description** The course Ultrasonic Measurement Technology deals with the phenomena of propagation of mechanical waves in solids, liquids and gases. Based on this the most important acoustic measurement principles for the determination of acoustic material parameters, geometric and technical process parameters as well as their application in process and production engineering are described. The application of sound and ultrasound for non-destructive material diagnostics as well as for ultrasonic tomography are covered in detail. **Contents** The Ultrasonic Metrology lecture covers the following topics: • Acoustic and sound field characteristics. • Fundamentals of wave propagation • Ultrasonic sensor design (experimental realization) • Methods for measurement and visualization of ultrasonic fields (needle and membrane hydrophone, schlieren measuring station, laser vibrometry. . .) • Metrological methods for acoustic material data determination (sound velocity, sound characteristic impedance. . .) • Application of ultrasound for non-destructive testing (NDT) and acoustic emission analysis • Application of ultrasound and in process measurement technology (distance, flow, level. . .)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Fachkompetenz:
Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- Ultraschall einzusetzen, um akustische und nicht akustische Größen damit zu bestimmen.

Fachübergreifende Kompetenzen:
Die Studierenden

- können die Kenntnisse und Fertigkeiten disziplinübergreifend und bei komplexen Fragestellungen einsetzen,
- können aufgrund einer systematischen Problemanalyse zielgerichtet Lösungen erarbeiten,
- sind aufgrund der methodenorientierten Wissensvermittlung befähigt, sich selbst in tangierende Arbeitsgebiete einzuarbeiten.

Specialized competence:
After attending the course, students will be able to,

- use ultrasound to determine acoustic and non-acoustic quantities.

Cross-disciplinary competencies:
The students

- are able to apply the knowledge and skills across disciplines and to complex problems,
- are able to develop targeted solutions on the basis of systematic problem analysis,
- are able to familiarize themselves with tangential fields of work due to the method-oriented knowledge transfer.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min oder 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or Oral Examination or Presentation	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Keine None
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung (MAP) bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination (MAP) was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** BF Automatisierungstechnik Lehramt BK affine Fächer Master v5, Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Elektrotechnik v4/v4b (EMA v4/v4b), Masterstudiengang Elektrotechnik v5 (EMA v5), Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik, Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen Studienrichtung Elektrotechnik V4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Bernd Henning
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Ultraschallmesstechnik:* **Lehrveranstaltungsseite** `http://emt.upb.de` **Methodische Umsetzung** • Vorlesungen mit Folien-Präsentation umfangreicher Zusammenhänge • Praktische Arbeit in Gruppen mittels Messtechnik im Labor **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Bereitstellung eines Skripts; Hinweise auf Lehrbücher aus der Lehrbuchsammlung werden bekannt gegeben.

	Remarks of course Ultraschallmesstechnik: **Course Homepage** `http://emt.upb.de` **Methodical implementation** • Lectures with slide presentation of extensive correlations • Practical work in groups using measurement techniques in the laboratory **Learning materials, references** • Provision of a script; references to textbooks from the textbook collection will be announced.

3.7 Informatik-Focus Area Classical and Quantum Algorithm Design

Advanced Algorithms

Advanced Algorithms

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4002	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05801 Advanced Algorithms	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05801 Advanced Algorithms	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Algorithms:
Empfohlene Vorkenntnisse
Bereitschaft und Fähigkeit, den kreativen Prozess des Algorithmenentwurfs und die Effizienzanalyse mit mathematischen Methoden zu erlernen. Grundkenntnisse einiger grundlegender Algorithmen und Datenstrukturen und deren Analysen werden vorausgesetzt.

	none *Prerequisites of course Advanced Algorithms:* **Recommended Proficiencies** Willingness and ability to learn the creative process of algorithm design and efficiency analysis using mathematical methods. Basic Knowledge of some basic algorithms and data structures and their analyses is assumed.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Algorithms:* Dieser Kurs präsentiert fortgeschrittene Algorithmen und algorithmische Paradigmen für grundlegende Probleme. Insbesondere werden dabei Methoden wie Randomisierung und Derandomisierung, sowie die Konzepte von Approximations- und Onlinealgorithmen anhand wichtiger algorithmischer Probleme vorgstellt. In allen Fällen werden Korrektheitsbeweise und Laufzeitanalysen durchgeführt. • Randomisierte Algorithmen und Derandomisierung, Beispiele u.a. Randomized Rounding • Online Algorithmen, Beispiele u.a. ais dem Bereich Scheduling • Approximationsalgorithmen, Beispiele u.a. NP-schwere Probleme *Contents of the course Advanced Algorithms:* This course presents advanced algorithms and algorithmic paradigms for fundamental problems. More precisely, methods like randomization and derandomization as well as concepts for approximation and online algorithms will be presented by illustrating their usefulness for important algorithmic problems. In all cases, the correctness and runtime will be rigorously analyzed. • Randomized algorithmens and derandomization, for example, randomized rounding • Online algorithms, for example, scheduling algorithms • Approximation algorithms, for example, NP-hard problems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • grundlegende Analysetechniken verstehen und anwenden, • grundlegende algorithmische Ansätze erklären und anwenden, • beurteilen, welche Auswirkungen diese Ansätze haben und • die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Ansätze einschätzen. Students will be able to • understand and apply basic analytical techniques, • explain and apply basic algorithmic approaches, • judge which effects these approaches have, and • know the limits of using these approaches.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Scheideler
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Algorithms:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung nutzt Tafelanschrieb und Folien sowie kleine Aufgaben für die Studierenden während der Vorlesung. Sie wird durch Tutorien begleitet. Studierende haben in den Tutorien Gelegenheit, Aufgaben in der Gruppe zu bearbeiten und Lösungen von Übungsblättern mit den Tutoren zu diskutieren. **Lernmaterialien, Literatur** • Foliensatz der Vorlesung; Übungsblätter • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben *Remarks of course Advanced Algorithms:* **Implementation Method** The lecture uses a blackboard and slides as well as small exercises for the students during the lecture. It will be supported by tutorial groups. Students have the opportunity in tutorial groups to work on problems in a group and to discuss solutions of the exercise sheets with the tutors. **Learning Material, Literature** • Slides of the lecture; exercise sheets • Additional literature will be announced in the course

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4006	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Empfohlene Vorkenntnisse
Algorithmen und Datenstrukturen, verteilte Algorithmen und Datenstrukturen

none

Prerequisites of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Recommended Proficiencies
Algorithms and data structures, distributed algorithms and data structures

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* Nach einer kurzen Einführung in die Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie sowie der verteilten Programmierung stellt die Vorlesung fortgeschrittene Methoden für verteilte Algorithmen und Datenstrukturen vor. Themen sind unter anderem Zugriffskontrolle, Synchronisation, Konsensus, Informationsverbreitung, hybride Netze, Scheduling und Optimierung. Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. Die Vorlesung gibt eine Einführung in aktuelle, fortgeschrittene verteilte Algorithmen und Datenstrukturen. Neben der Präsentation der dafür notwendigen Protokolle werden diese auch rigoros auf ihre Korrektheit und Effizient hin analysiert. Die Vorlesung gliedert sich in folgende Kapitel: • Einführung • Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie • Zugriffskontrolle • Synchronisation • Konsensus • Informationsverbreitung • Hybride Netze • Scheduling • Optimierung Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. *Contents of the course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* After a short introduction of the foundations of graph and network theory as well as distributed programs, the lecture presents advanced methods in the area of distributed algorithms and data structures. Topics covered in the course are access control, synchronization, consensus, information dissemination, hybrid networks, scheduling, and optimization. In addition to presenting solutions to these topics, also concrete applications will be presented. The lecture gives an introduction to state-of-the-art advanced distributed algorithms and data structures. In addition to the presentation of the corresponding protocols, their correctness and efficienty will be shown in a rigorous way. The lecture is structured as follows: • Introduction • Fooundations of graph and network theory • Access control • Synchronization • Consensus • Information dissemination • Hybrid networks • Scheduling • Optimization In addition to presenting solution to these topics, also concrete applications will be presented.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • grundlegende analytische Techniken verstehen und anwenden, • grundlegende algorithmische Ansätze erklären und anwenden, • beurteilen, welche Auswirkungen diese Ansätze haben und • die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Ansätze einschätzen.

Students will be able to

- understand and apply basic analytical techniques,
- explain and use basic algorithmic approaches,
- judge which effects these approaches have, and
- know the limits of using these approaches.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Scheideler
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung nutzt Tafelanschrieb und Folien sowie kleine Aufgaben für die Studierenden während der Vorlesung. Sie wird durch Tutorien begleitet. Studierende haben in den Tutorien Gelegenheit, Aufgaben in der Gruppe zu bearbeiten und Lösungen von Übungsblättern mit den Tutoren zu diskutieren. **Lernmaterialien, Literatur** • Foliensatz der Vorlesung; Übungsblätter • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben *Remarks of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Implementation Method** The lecture uses a blackboard and slides as well as small exercises for the students during the lecture. It will be supported by tutorial groups. Students have the opportunity in tutorial groups to work on problems in a group and to discuss solutions of the exercise sheets with the tutors. **Learning Material, Literature** • Slides of the lecture; exercise sheets • Additional literature will be announced in the course

Algorithms for Complex Virtual Scenes

Algorithms for Complex Virtual Scenes

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4009	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05803 Algorithms for Complex Virtual Scenes	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05803 Algorithms for Complex Virtual Scenes	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Algorithms for Complex Virtual Scenes:
Empfohlene Vorkenntnisse
Bereitschaft und Fähigkeit, den kreativen Prozess des Algorithmenentwurfs und die Effizienzanalyse mit mathematischen Methoden zu erlernen. Grundkenntnisse einiger grundlegender Algorithmen und Datenstrukturen und deren Analysen werden angenommen.

	none *Prerequisites of course Algorithms for Complex Virtual Scenes:* **Recommended Proficiencies** Willingness and ability to learn the creative process of algorithm design and efficiency analysis using mathematical methods. Basic Knowledge of some basic algorithms and data structures and their analyses is assumed.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Algorithms for Complex Virtual Scenes:* Walkthrough-Systeme erlauben das Betrachten und Durchlaufen von virtuellen 3D-Szenen und finden Anwendung in Architekturprogrammen, Simulationen, oder Spielen. Die Effizienz von Echtzeit-Rendering Algorithmen ist entscheidend für eine flüssige und schnelle Darstellung der virtuellen 3D-Szenen in einem Walkthrough-System. Es gibt verschiedene algorithmische Ansätze, um hochkomplexe geometrische 3D-Daten zu reduzieren und eine Darstellung der Daten in Echtzeit zu erreichen. In der Vorlesung werden dafür unterschiedliche algorithmische Ansätze vorgestellt, z. B. Visibility-Culling, Simplification, Level of Detail, Image-Based Rendering. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Walkthrough-Problem • Räumliche Datenstrukturen: kd-Baum, BSP-Baum, Octree, Loose-Octree • Level of Detail: Adaptives LOD-Management, Mesh Simplification, Progressive Meshes • Visibility Culling: View Frustum Culling, Potentially Visible Sets (PVS), Dynamische Berechnung der PVS, Hierarchischer Z-Buffer, Coherent Hierarchical Culling, Hierarchische Occlusion Maps, Aspect-Graph, Visibility Space Partition • Replacement: Color-Cubes, Randomisierter Z-Buffer, Hierarchical Image Caching • Paralleles Rendern: Klassifizierung und Modellierung, Paralleles Rendering als Sortierproblem, Hybrides Sort-First/Sort-Last-Rendering *Contents of the course Algorithms for Complex Virtual Scenes:* Walkthrough systems allow viewing and walking through a virtual 3D scene and finds application in architecture programs, simulations or games. The efficiency of real-time rendering algorithms is crucial for a smooth and fast rendering of the virtual 3D scene in a walkthrough system. There are different algorithmic approaches to reduce highly complex 3D geometric data and to achieve a rendering of the scene in real time. The lecture introduces different algorithmic approaches, e.g., visibility culling, simplification, level of detail, image-based rendering. The course includes the following contents: • Walkthrough problem • Spatial Data structures: kd-tree, BSP-tree, octree, loose octree • Level of detail: adaptive LOD management, mesh simplification, progressive meshes • Visibility culling: view frustum culling, potentially visible sets (PVS), dynamic analysis of PVS, hierarchical z-buffer, hierarchical occlusion maps, coherent hierarchical culling, aspect graph, visibility space partition • Replacement: color cubes, randomized z-buffer, hierarchical image caching • Parallel rendering: classification and modeling, parallel rendering as a sorting problem, hybrid sort-first/sort-last rendering

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- grundlegende Algorithmen und Datenstrukturen für Problemstellungen der Darstellung komplexer virtueller Szenen benennen, erklären und anwenden
- grundlegende algorithmische Problemstellungen in Anwendungsproblemen der Darstellung komplexer virtueller Szenen erkennen und geeignete Algorithmen und Datenstrukturen dafür auswählen
- Laufzeit- und Speicherplatzabschätzung von räumlichen Datenstrukturen und Algorithmen analysieren, vergleichen und untersuchen
- beurteilen, welche Auswirkungen die Wahl von räumlichen Datenstrukturen auf die Effizienz von Algorithmen der Darstellung komplexer virtueller Szenen hat
- eigene effiziente Sichtbarkeits-Algorithmen auf Basis räumlicher Datenstrukturen für weitere virtuelle Szenen mit spezieller Charakteristik entwickeln
- eigene effiziente Approximations-Algorithmen auf Basis räumlicher Datenstrukturen für weitere virtuelle Szenen mit spezieller Charakteristik entwickeln
- Problemstellungen der Darstellung komplexer virtueller Szenen und entsprechende Lösungsvorschläge mit Fachexperten diskutieren

Students will be able to

- name, explain and apply basic algorithms and data structures for problems in the rendering of complex virtual scenes.
- identify basic algorithmic problems in application problems of the rendering of complex virtual scenes and select suitable algorithms and data structures for them
- analyze, compare and investigate runtime and memory estimation of spatial data structures and algorithms
- evaluate what impact the choice of spatial data structures has on the efficiency of algorithms for rendering complex virtual scenes
- develop own efficient visibility algorithms based on spatial data structures for other virtual scenes with special characteristics
- develop own efficient approximation algorithms based on spatial data structures for other virtual scenes with special characteristics
- discuss problems of the rendering of complex virtual scenes and corresponding solution proposals with experts in the field

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Mündliche Prüfung, Klausur oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Dr. Matthias Fischer

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Algorithms for Complex Virtual Scenes:
Methodische Umsetzung
Die Inhalte werden durch eine Präsentation im Rahmen einer Vorlesung vermittelt. Die Vorlesung erfolgt in der Regel mit Beamer und Tafelanschrieb. In Übungen und Übungsaufgaben werden Entwurf und Analyse von Algorithmen an ausgewählten Beispielen vorgestellt und von den Studierenden in Präsenzübungen in Kleingruppen sowie im Selbststudium vertieft und selbst entwickelt und durch praktische Übungen ergänzt. Musterlösungen von Übungsblättern werden in Zentralübungen vorgestellt. Die erwarteten Aktivitäten der Studierenden sind die Mitarbeit bei Präsenzübungen und das selbstständige Bearbeiten der Übungsaufgaben.
Lernmaterialien

- Vorlesungsfolien, Übungsblätter, ggfs. Musterlösungen, Vorlesungsaufzeichnung aus früheren Jahren, Tafelabschrieb

Literaturangaben

- Real-Time Rendering; Tomas Akenine-Möller, Eric Haines; AK Peters, 2002.
- Level of Detail for 3D Graphics; David Luebke, Martin Reddy, Jonathan D. Cohen; Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- Algorithmen in der Computergraphik; Thomas Rauber; Teubner, 1993.
- Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications; Eric Stollnitz, David H. Salesin, Anthony D. DeRose; Morgan Kaufmann Publishers, 1996.
- Graphic Gems; Andrew S. Glassner; Academic Press; 1990.
- Game Programming Gems; Mark DeLoura; Charles River Media; 2000.

Algorithmische Geometrie

- Computational Geometry - Algorithms and Applications; Mark de Berg, Marc de Kreveld, Mark Overmars; Springer Verlag, 2000.
- Computational Geometry in C; Joseph O'Rourke; Cambridge University Press, 1998.
- Algorithmic Geometry; Jean-Daniel Boissonnat, Herve Bronniman;Cambridge University Press, 1998.
- Algorithmische Geometrie Grundlagen, Methoden, Anwendungen; Rolf Klein; Springer Verlag, 2005.

Allgemeine Prinzipien der Computergrafik

- 3D Computer Graphics; Alan Watt; Addison Wesley, 1999.
- Computer Graphics, Principles and Practice; James Foley, Andries van Dam, Steven Feiner, John Hughes; Addison Wesley, 1995.
- Computer Graphics; Donald Hearn, M. P. Baker; Prentice Hall, 2003.
- Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben.

Remarks of course Algorithms for Complex Virtual Scenes:
Implementation Method
The contents are taught by means of a presentation within the framework of a lecture. The lecture is usually held with beamer and blackboard. In exercises and assignments, design and analysis of algorithms are presented on selected examples and are deepened and developed by the students themselves in tutorials in small groups as well as in self study and supplemented by practical exercises. Sample solutions of exercise sheets are presented in central exercises. The expected activities of the students are participation in presence exercises and independent work on assignments.
Learning Material

- Lecture slides, exercise sheets, sample solutions if applicable, lecture recordings from previous years, blackboard transcription

Literature

- Real-Time Rendering; Tomas Akenine-Möller, Eric Haines; AK Peters, 2002.
- Level of Detail for 3D Graphics; David Luebke, Martin Reddy, Jonathan D. Cohen; Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- Algorithmen in der Computergraphik; Thomas Rauber; Teubner, 1993.
- Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications; Eric Stollnitz, David H. Salesin, Anthony D. DeRose; Morgan Kaufmann Publishers, 1996.
- Graphic Gems; Andrew S. Glassner; Academic Press; 1990.
- Game Programming Gems; Mark DeLoura; Charles River Media; 2000.

Computational Geometry

- Computational Geometry - Algorithms and Applications; Mark de Berg, Marc de Kreveld, Mark Overmars; Springer Verlag, 2000.
- Computational Geometry in C; Joseph O'Rourke; Cambridge University Press, 1998.
- Algorithmic Geometry; Jean-Daniel Boissonnat, Herve Bronniman;Cambridge University Press, 1998.
- Algorithmische Geometrie Grundlagen, Methoden, Anwendungen; Rolf Klein; Springer Verlag, 2005.

General principles of computer graphics

- 3D Computer Graphics; Alan Watt; Addison Wesley, 1999.
- Computer Graphics, Principles and Practice; James Foley, Andries van Dam, Steven Feiner, John Hughes; Addison Wesley, 1995.
- Computer Graphics; Donald Hearn, M. P. Baker; Prentice Hall, 2003.

Additional literature will be announced in the course.

Foundational Methods for Knowledge Representation and Reasoning

Foundational Methods for Knowledge Representation and Reasoning

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4210	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05811 Parameterized Algorithms and Complexity	V3 Ü2	75	105	P	35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05811 Parameterized Algorithms and Complexity	L3 Ex2	75	105	C	35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Parameterized Algorithms and Complexity:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlegende Kenntnisse zu Algorithmen und ihrer Analyse, Komplexitätstheorie (Komplexitätsklassen, Turing-Maschinen, NP-Vollständigkeit) sowie Prädikatenlogik

none

Prerequisites of course Parameterized Algorithms and Complexity:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge of algorithms and their analysis, complexity theory (complexity classes, Turing machines, NP-completeness) as well as first-order logic

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Parameterized Algorithms and Complexity:* Dieser Kurs gibt eine Einführung in die Theorie der parametrisierten Komplexität. Er • gibt eine Einführung in die Grundlegenden Ideen der parametrisierten Komplexiät, • behandelt verschiedene algorithmische Techniken, die dabei helfen, effiziente Algorithmen (in Hinblick auf ihre parametrisierte Komplexität) zu konstruieren, beispielsweise Kernelisierung und beschränkte Suchbäume, • behandelt zentrale Konzepte und Methoden der Theorie der Schwere von Problemen in der parametrisierten Komplexität, insbesondere fpt-Reduktionen sowie die W-Hierarchie und A-Hierarchie, • gibt eine kurze Einführung in die fein-granulare Komplexität. *Contents of the course Parameterized Algorithms and Complexity:* The course gives an introduction to parameterized complexity theory. It • gives an introduction to the foundational ideas of parameterized complexity • covers several algorithmic techniques that help constructing efficient algorithms (with respect to parameterized complexity), such as kernelization and bounded search trees, • covers the central concepts and tools of the hardness theory in parameterized complexity, in particular fpt-reductions as well as the W-hierarchy and A-hierarchy, and • gives a brief introduction to fine-grained complexity.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • in der Vorlesung behandelte Begriffe kompetent verwenden und erläutern • in der Vorlesung behandelte Beweise und Beweistechniken wiedergeben und erläutern, inklusive algorithmischer Techniken • insbesondere können sie die Beweise für Korrektheit und Laufzeit der behandelten Algorithmen wiedergeben und erläutern • konstruktive Beweise und Verfahren aus der Vorlesung auf konkrete Instanzen anwenden • die Beweistechniken und algorithmischen Techniken aus der Vorlesung auf neue, ähnliche Probleme anwenden Students will be able to • use the technical notions covered in the lecture competently and explain these notions • reproduce and explain the proofs and proof techniques covered in the lecture, including algorithmic techniques • in particular, reproduce and explain proofs of correctness and running time of the covered algorithms • apply constructive proofs and formal methods from the lecture to specific instances • apply the proof techniques and algorithmic techniques on new, similar problems

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or presentation	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Referat		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or presentation		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Anni-Yasmin Turhan
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Parameterized Algorithms and Complexity:* **Methodische Umsetzung** Die Inhalte werden via Beamer oder am Whiteboard präsentiert. In den Übungen gibt es die Möglichkeit, das Verständnis der Inhalte zu vertiefen und die Zielkompetenzen des Kurses zu üben. Die Vorlesung folgt größtenteils ausgewählten Kapiteln der folgenden Literatur: • *Parameterized Algorithms* by M. Cygan, F. V. Fomin, L. Kowalik, D. Lokshtanov, D. Marx, M. Pilipczuk, M. Pilipczuk, S. Saurabh (Springer 2015). • *Parameterized Complexity Theory* by J. Flum, M. Grohe (Springer 2006). • Weitere Literatur wird ggf. in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Parameterized Algorithms and Complexity:* **Implementation Method** Content is presented via beamer presentation or on white board. Exercises provide opportunities to deepen the understanding of the content and train the competences obtained in the course. The lecture in most part follows select chapters of the following literature: • *Parameterized Algorithms* by M. Cygan, F. V. Fomin, L. Kowalik, D. Lokshtanov, D. Marx, M. Pilipczuk, M. Pilipczuk, S. Saurabh (Springer 2015). • *Parameterized Complexity Theory* by J. Flum, M. Grohe (Springer 2006). • Additional literature might be announced in the course.

Foundations of Cryptography

Foundations of Cryptography

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4020	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05801 Foundations of Cryptography	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05801 Foundations of Cryptography	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:
Empfohlene Vorkenntnisse
Basiskenntnisse in IT-Sicherheit und Kryptographie nützlich aber nicht notwendig, Grundkonzepte der Komplexitätstheorie und Wahrscheinlichkeitstheorie

none

Prerequisites of course Foundations of Cryptography:
Recommended Proficiencies
Basic Knowledge in IT-Security and cryptography useful but not necessary, basic concepts of complexity theory and probability theory

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:* Kryptographie ist eine wichtige Basistechnik der IT-Sicherheit. So beruhen Internet-Protokolle wie TLS auf kryptgraphischen Primitiven wie Schlüsselaustausch, Verschlüsselung und Signaturen. In dieser Vorlesung werde wichtige Basiskonzepte moderner Kryptographie vorgestellt. Hierzu gehören Verschlüsselungsverfahren, digitale Signaturen, Identifikationsprotokolle und Mehrparteienberechnungen. In allen Fällen werden formale Sicherheitsdefinitionen vorgestellt und, ausgehend von mathematisch präzisen Annahmen, beweisbar sichere Konstruktionen entwickelt. Eine wesentlicher Aspekt der Vorlesung ist die Konstruktiver effizienter und sicherer kryptographischer Verfahren aus möglichst allgemeinen Annahmen. Zu den Inhalten gehören: • Symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung • Pseudozufallsfunktionen, Einweg-Funktionen, Permutationen mit Falltüren • Hashfunctions und Authentifizierungscodes • Digitale Unterschriften, Einmal-Unterschriften und Zufallsorakel • Identifikationsprotokolle, Σ-Protokolle • Sicherheitskonzepte wie unfälschbare Signaturen und CPA- sowie CCA-sichere Verschlüsselungsverfahren *Contents of the course Foundations of Cryptography:* Cryptography is an important basic technique in IT security. Internet protocols such as TLS are based on cryptographic primitives such as key exchange, encryption and signatures. In this lecture, important basic concepts of modern cryptography will be introduced. These include encryption schemes, digital signatures, identification protocols, and multiparty computations. In all cases, formal security definitions are presented and, starting from mathematically precise assumptions, provably secure constructions are developed. An essential aspect of the lecture is the construction of efficient and secure cryptographic methods from assumptions that are as general as possible. Contents include: • Symmetric and asymmetric encryption. • Pseudorandom functions, one-way functions, permutations with trapdoors • Hash functions and authentication codes • Digital signatures, one-time signatures and random oracles. • Identification protocols, Σ protocols. • Security concepts such as unforgeable signatures and CPA- and CCA-secure encryption schemes.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- Konzepte und Methoden moderner Kryptographie zu verstehen, zu erklären und anzuwenden.
- gemäß den Sicherheitsanforderungen einer Anwendung geeignete kryptographischen Verfahren auszuwählen, z.B. unterscheiden, wo Verschlüsselungsverfahren und wo Authentisierungsverfahren angemessen sind.
- Primitiven der Kryptographie gemäß den Anforderungen von Anwendungen kombinieren und die Sicherheit der Kombination zu beweisen.
- neue Sicherheitskonzepte zu definieren und kryptographische Methoden zu entwerfen, die diesen Konzepte erfüllen.
- Sicherheitsbeweise verstehen und eigenständig ausarbeiten.
- sich neueste Forschungsergebnisse im Bereich der Kryptographie anhand von wissenschaftlichen Papers zu erarbeiten.

Upon completion of the module, students will be able to:

- understand, explain and apply concepts and methods of modern cryptography.
- select appropriate cryptographic methods according to the security requirements of an application, e.g. distinguish where encryption methods and where authentication methods are appropriate.
- combine primitives of cryptography according to application requirements and prove the security of the combination.
- define new security concepts and design cryptographic methods that satisfy those concepts.
- understand and independently develop security proofs.
- acquire latest research results in the field of cryptography by reading scientific papers.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Johannes Blömer

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:
Methodische Umsetzung
Grundlegende Konzepte werden in einer Vorlesung präsentiert. Zusätzlich werden theoretische Konzepte in Tutorien in Kleingruppen vertieft. In schriftlichen Übungen und in Lesegruppen wird der praktischer Einsatz dieser Konzepte eingeübt.
Lernmaterialien, Literaturangaben

- Oded Gorldreich, Foundations of Cryptography I,II,
- Jonathan Katz, Yehuda Lindell, Introduction to Modern Cryptography
- Folien der Vorlesung
- Skript

Remarks of course Foundations of Cryptography:
Implementation method
Basic concepts are presented in a lecture. In addition, theoretical concepts are deepened in tutorials in small groups. Written exercises and reading groups will be used to practice the practical application of these concepts.
Learning Material, Literature

- Oded Gorldreich, Foundations of Cryptography I,II,
- Jonathan Katz, Yehuda Lindell, Introduction to Modern Cryptogtraphy
- Slides from the lectures
- Lecture notes

Introduction to Quantum Computation			
Introduction to Quantum Computation			
Modulnummer / Module number: M.079.4059	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05706 Introduction to Quantum Computation	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05706 Introduction to Quantum Computation	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra, Algorithmen

none

Prerequisites of course Introduction to Quantum Computation:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra, algorithms

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:
In dieser Vorlesung werden die Grundlagen von Quanteninformatik und Quanteninformation vorgestellt. Das umfasst eine Einführung in Quantenmechanik, Quantenverschränkung, Quantenalgorithmen, Quantenfehlerkorrektur und Quanteninformation.

- Quantenmechanik
- Quantenverschränkung
- Quantenalgorithmen
- Quantenfehlerkorrektur
- Quanteninformation

Contents of the course Introduction to Quantum Computation:
This lecture introduces the fundamental concepts of quantum computation and information from a computer science perspective. This includes an introduction to quantum mechanics, quantum entanglement, quantum algorithms, quantum error correction, and quantum information theory.

- Quantum mechanics
- Quantum entanglement
- Quantum algorithms
- Quantum error correction
- Quantum information

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Studierende können:

- die Postulate von Quantenmechanik beschreiben und benutzen,
- die Benutzung von Quantenverschränkung als eine Quelle verstehen,
- grundlegenden Quantenalgorithmen entwickeln und analysieren
- Quantenfehlerkorrektur benutzen,
- grundlegender Quanteninformationskonzepten, wie Entropie, verstehen und benutzen.

Students are able to:

- Describe and apply the postulates of quantum mechanics
- Understand the use of entanglement as a resource
- Design and analyze fundamental quantum algorithms
- Apply the theory of error-correcting codes
- Understand and apply basic quantum information theory concepts such as entropy

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Sevag Gharibian

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Introduction to Quantum Computation:* **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Lecture slides, exercises

Post-Quantum Cryptography			
Post-Quantum Cryptography			
Modulnummer / Module number: M.079.4089	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05732 Post-Quantum Cryptography	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05732 Post-Quantum Cryptography	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Post-Quantum Cryptography:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundkenntnisse in Kryptographie und Komplexitätstheorie

none

Prerequisites of course Post-Quantum Cryptography:
Recommended Proficiencies
Basics of cryptography and complexity theory

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Post-Quantum Cryptography:* IT-Sicherheit beruht zu großen Teilen auf Verfahren der modernen Kryptographie. Hierzu gehören viele Verfahren der so genannten Public-Key Kryptographie wie das RSA- und das Elgamal-Verschlüsselungsverfahren, das RSA-Unterschriftenverfahren sowie die verschiedenen Varianten des Digital Signature Algorithms (DSA). Im Jahr 1994 stellte Peter Shor einen effizienten Algorithmus zur Berechnung der Primfaktorisierung ganzer Zahlen und zur Berechnung diskreter Logarithmus in endlichen Gruppen vor. Damit sind alle genannten Verfahren der Public-Key Kryptographie unsicher, wenn Quantencomputer hinreichender Größe und Komplexität realisiert werden können. Es ist daher wichtig, Alternativen zu klassischen Public-Key Verfahren zu entwickeln, die zumindest nach aktuellem Forschungsstand nicht von Quantencomputern gebrochen werden können. Wichtige Kandidaten (und teilweise kurz vor der Standardisierung stehende) für solche post-quanten sichere Verfahren beruhen auf Techniken fehler-korrigierender Codes und der Geometrie der Zahlen. In dieser Vorlesung sollen wichtige Kandidaten für post-quanten sichere Verfahren vorgestellt und diskutiert werden. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Einführung in Codes, Gitter, diskretetisierte Gaußverteilungen • gitter- und codebasierte Verschlüsselung • gitterbasierte Signaturen • Gitter und Zero-Knowledge Beweise • gitterbasierte Gruppensignaturen *Contents of the course Post-Quantum Cryptography:* IT security is largely based on modern cryptographic methods. These include many methods of so-called public-key cryptography such as the RSA and Elgamal encryption methods, the RSA signature method, and the various variants of the Digital Signature Algorithm (DSA). In 1994, Peter Shor presented an efficient algorithm for computing prime factorization of integers and for computing discrete logarithms in finite groups. Thus, all the aforementioned methods of public-key cryptography are insecure if quantum computers of sufficient size and complexity can be realized. It is therefore important to develop alternatives to classical public-key methods that, at least according to current research, cannot be broken by quantum computers. Important candidates (and some close to standardization) for such post-quantum secure methods rely on techniques of error-correcting codes and the geometry of numbers. In this lecture, we will present and discuss important candidates for post-quantum secure methods. The course includes the following contents: • introduction to codes, lattices and discretised Gaussian distributions • lattice and code based enryption • lattice based signatures • lattices and zero-knowledge proofs • lattice based group signatures

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- den Unterschied zwischen klassischer und post-quanten Sicherheit verstehen und erklären.
- die Bedeutung von post-quanten Kryptographie für ausgewählte Anwendungen erklären.
- Konzepte aus dem Bereich der Geometrie der Zahlen und der fehler-korrigierende Codes erklären und anwenden.
- wichtige Konstruktionen aus dem Bereich der post-quanten Kryptographie erklären und deren Sicherheit beweisen.
- Sicherheitsannahmen aus der post-quanten Kryptographie erläutern und gegebenenfalls für neue post-quanten Primitiven einsetzen.

Students will be able to

- understand and explain the difference between classical and post-quantum security.
- explain the importance of post-quantum cryptography for selected applications.
- explain and apply concepts from the field of geometry of numbers and error-correcting codes.
- explain important constructions from post-quantum cryptography and prove their security.
- explain security assumptions from post-quantum cryptography and apply them to new post-quantum primitives.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Johannes Blömer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Post-Quantum Cryptography:* **Methodische Umsetzung** Grundlegende Konzepte werden in einer Vorlesung präsentiert. Zusätzlich werden theoretische Konzepte in Tutorien in Kleingruppen sowie in schriftlichen Übungen vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Verweise auf aktuelles Lernmaterial werden in der Vorlesung gegeben. *Remarks of course Post-Quantum Cryptography:* **Implementation Method** Basic concepts are presented in a lecture. In addition, theoretical concepts are deepened in tutorials in small groups as well as in written exercises. **Learning Material, Literature** References to current learning materials will be given in the lectures.

Quantum Algorithms			
Quantum Algorithms			
Modulnummer / Module number: M.079.4072	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05830 Quantum Algorithms	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05830 Quantum Algorithms	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Quantum Algorithms:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra, Quanteninformatik

none

Prerequisites of course Quantum Algorithms:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra, Quantum Computing

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Quantum Algorithms:
Die Vorlesung stellt fortgeschrittene Methoden vor, um Quantenalgorithmen zu entwickeln. Inhalt:

- Quantenschaltung
- Quantenalgorithmen für algebraische Problemen
- Quantum Walks
- Quanten Query Komplexität
- Adiabatische Quantencomputing

Contents of the course Quantum Algorithms:
This lecture covers quantum algorithms from a computer science perspective. Topics include quantum circuits (e.g. Solovay-Kitaev theorem), quantum algorithms for algebraic problems (e.g. Hidden Subgroup problem), quantum walks, quantum query complexity, and adiabatic quantum computing.

- Quantum circuits
- Algebraic problems
- Quantum walks
- Query complexity
- Adiabatic computation

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Studierende können:

- universelle Gatter beschreiben und benutzen,
- die Quanten-Fourier-Transformation benutzen,
- Quantum Walks benutzen,
- adiabatische Quantenalgorithmen entwickeln,
- mit Quanten-Query-Komplexität arbeiten

Students are able to:

- Describe universal gate sets
- Develop Quantum Fourier-Transform based algorithms
- Develop quantum walk-based algorithms
- Apply the quantum adiabatic theorem
- Give quantum query lower bounds

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Sevag Gharibian

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Quantum Algorithms:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Andrew M. Childs, Wim van Dam, Quantum algorithms for algebraic problems, Reviews of Modern Physics, volume 82, 2010 • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Quantum Algorithms:* **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Andrew M. Childs, Wim van Dam, Quantum algorithms for algebraic problems, Reviews of Modern Physics, volume 82, 2010 • Lecture slides, exercises

Quantum Complexity Theory			
Quantum Complexity Theory			
Modulnummer / Module number: M.079.4063	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05811 Quantum Complexity Theory	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05811 Quantum Complexity Theory	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Quantum Complexity Theory:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra, Quanteninformatik

none

Prerequisites of course Quantum Complexity Theory:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra, Quantum Computing

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Quantum Complexity Theory:* Diese Vorlesung gibt einen kurzen Überblick über die Grundlagen von Quanteninformatik und wendet sich anschließend der Quantenkomplexitätstheorie zu. Dabei werden sowohl einführende als auch vertiefende Themen behandelt wie die Analoga zu P und NP (bezeichnet als BQP, QCMA, and QMA), Quanten-Erfüllbarkeitsprobleme, Quanten-interaktive Beweise und Tensor-Netzwerke. Begleitend wird semidefinite Programmierung als ein wichtiges Werkzeug eingeführt. • Komplexitätsklassen BQP, QCMA, QMA • Quantenalgorithmen für die Lösung linearer Systeme • Quanten-Erfüllbarkeitsprobleme • Quanten-interaktive Beweise • Semidefinite Programmierung *Contents of the course Quantum Complexity Theory:* This lecture provides a brief review of introductory quantum computation, and subsequently moves into quantum complexity theory. Beginning to advanced topics will be covered, including quantum analogues of P and NP (denoted BQP, QCMA, and QMA), quantum satisfiability problems, quantum interactive proofs, and tensor networks. Along the way, semidefinite programming will be introduced as an important tool. • Complexity classes BQP, QCMA, QMA • Quantum algorithms for linear system solving • Quantum Satisfiability Problems • Quantum Interactive Proofs • Semidefinite Programming
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind in der Lage • Sprachklassen von Versprechensklassen zu unterscheiden • grundlegende Quantenkomplexitätsklassen, wie BQP und QMA, zu definieren • BQP-Härte-Resultate über Polynomialzeit-Reduktionen zu beweisen • Beweis von QMA-Härteergebnissen über Polynomialzeit-Reduktionen • Anwendung der semidefiniten Programmierung zur Analyse von interaktiven Quantenbeweisen Students will be able to • Distinguish language classes from promise classes • Define fundamental quantum complexity classes, such as BQP and QMA • Prove BQP-hardness results via polynomial-time reductions • Prove QMA-hardness results via polynomial-time reductions • Apply semidefinite programming to analyze quantum interactive proofs

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sevag Gharibian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Quantum Complexity Theory:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • S. Gharibian, Y. Huang, Z. Landau, S. W. Shin, Quantum Hamiltonian Complexity, Foundations and Trends in Theoretical Computer Science • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Quantum Complexity Theory:* **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • S. Gharibian, Y. Huang, Z. Landau, S. W. Shin, Quantum Hamiltonian Complexity, Foundations and Trends in Theoretical Computer Science • Lecture slides, assignments

Quantum Information			
Quantum Information			
Modulnummer / Module number: M.079.4090	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05805 Quantum Information	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05805 Quantum Information	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Quantum Information:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra

none

Prerequisites of course Quantum Information:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Quantum Information:* Im Laufe des letzten Jahrhunderts hat die Quantenmechanik tiefgreifende Auswirkungen auf die Grundlagenwissenschaft und die Technologie gehabt. Das neu entstehende Gebiet der Quanteninformationstheorie untersucht ein Paradigma für die Informationsverarbeitung auf der Grundlage der Quantenmechanik. Dieser Bereich hat gezeigt, dass die Quanteninformationsverarbeitung ihr klassisches Gegenstück übertreffen kann und stellt eine revolutionäre Richtung für die Erforschung künftiger Informationstechnologien dar. Die Quanteninformationswissenschaft umfasst Techniken aus der Informatik, Mathematik und Physik. Von besonderem Interesse ist die Quantenverschränkung, ein Phänomen, das auftritt, wenn eine Gruppe von Teilchen so erzeugt wird oder miteinander interagiert, dass der Zustand jedes Teilchens nicht unabhängig von den anderen beschrieben werden kann, selbst wenn die Teilchen durch beliebig große Abstände getrennt sind. Die Verschränkung ist ein Hauptmerkmal der Quantenmechanik, das in der klassischen Physik nicht vorkommt, und sie ist eine Ressource hinter den meisten modernen Quantentechnologien, wie z. B. Quantencomputern. In dieser Vorlesung werden die fortgeschrittenen Konzepte der Quantenkommunikation und -information vorgestellt. Der Inhalt umfasst: • Verschränkung von Zwei- und Vielteilchensystemen • Quanteninformationsverarbeitung und Anwendungen • Maße für Verschränkung, Abstand und Treue • Höhere lokale Dimensionen (Qubits vs. Qudits) • Quantenkanäle • Klassische und Quanten-Fehlerkorrekturcodes und ihre Unterschiede *Contents of the course Quantum Information:* Over the last century, Quantum mechanics has had profound impacts on both fundamental science and technology. The emerging field of Quantum Information Theory studies a paradigm for information processing empowered by quantum mechanics. This field has demonstrated that quantum information processing can outperform its classical counterpart and is a revolutionary direction to investigate future information technologies. Quantum Information Science incorporates techniques from computer science, mathematics, and physics. Of particular interest is quantum entanglement, which is the phenomenon that occurs when a group of particles is generated or interacts in a way such that the state of each particle cannot be described independently of the others, even when the particles are separated by arbitrarily large distances. Entanglement is a primary feature of quantum mechanics not present in classical physics and it is a resource behind most modern quantum technologies, such as quantum computers. This lecture introduces the advance concepts of quantum communication and information. The contents include: • Entanglement of two- and many-body systems • Quantum information processing and applications • Measures of Entanglement, Distance and Fidelity • Higher local dimensions (qubits vs qudits) • Quantum channels • Classical and quantum error correcting codes and their differences

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden lernen modernste Konzepte an der Schnittstelle von Informatik und Quantenmechanik kennen. Die Vorlesung vermittelt den Studierenden fortgeschrittene, interdisziplinäre technische Kenntnisse, die sie in die Lage versetzen, Karrieren in analyseintensiven Industrien, Technologie-Start-ups oder Forschungs- und Entwicklungsaufgaben in führenden Technologieunternehmen oder in der Wissenschaft zu verfolgen. Um dies zu erreichen, werden die Studierenden mit den Grundlagen der Quantenmechanik und der zugehörigen Algebra vertraut gemacht. Darüber hinaus werden sie in der Lage sein:

- die zugrundeliegenden Konzepte von verschränkten Systemen (Zweikörper- und Vielkörpersysteme) zu verstehen,
- die Grundidee der maximal verschränkten Systeme zu verstehen, sie zu klassifizieren und für praktische Anwendungen zu charakterisieren,
- den grundlegenden Begriff der Teilchen höherer lokaler Dimensionen beschreiben (Qubits vs. Qudits),
- die Theorie der klassischen und der Quanten-Fehlerkorrekturcodes anwenden und ihre Unterschiede untersuchen
- interdisziplinäre Themen zu bearbeiten und sich insbesondere die Grundlagen verschiedener Disziplinen anzueignen.

Students learn cutting-edge concepts at the intersection of computer science and quantum mechanics. This lecture equips students with advanced, interdisciplinary technical proficiency, enabling them to pursue careers in analysis intensive industries, technology start-ups, or research and development roles in leading technology companies or academia. To achieve this, the students get familiar with the basics of quantum mechanics and the related algebra. Furthermore, they will be able to:

- understand the underlying concepts of entangled systems (two-body and many-body),
- understand the fundamental idea of maximally entangled systems, classify and characterise them for practical applications,
- describe the basic notion of higher local dimension particles (qubits vs qudits),
- apply the theory of classical and quantum error correcting codes, and study their differences,
- to work on interdisciplinary topics and, in particular, to acquire the basics of different disciplines.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

	⊠Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7	**Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Zahra Raissi

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Quantum Information:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte werden in Form von Vorlesungen vermittelt und in praktischen Übungen, Gruppenarbeiten sowie individuellen Übungsaufgaben vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 2000. • F. J. MacWilliams and N. J. A. Sloane. The Theory of Error-Correcting Codes, North-Holland Mathematical Library. North-Holland, Amesterdam, 1977. ISBN 9780444851932. • Ingemar Bengtsson and Karol Zyczkowski, Geometry of quantum states: an introduction to quantum entanglement, Cambridge university press, 2006, ISBN 9780511535048. • Vorlesungsfolien • Übungsaufgaben *Remarks of course Quantum Information:* **Implementation Method** Theoretical foundations and concepts will be taught in the form of lectures and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual assignments. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press, 2000. • F. J. MacWilliams and N. J. A. Sloane. The Theory of Error-Correcting Codes, North-Holland Mathematical Library. North-Holland, Amesterdam, 1977. ISBN 9780444851932. • Ingemar Bengtsson and Karol Zyczkowski, Geometry of quantum states: an introduction to quantum entanglement, Cambridge university press, 2006, ISBN 9780511535048. • Lecture slides • Exercises

3.8 Informatik-Focus Area Computer and Communication Systems

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4006	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Empfohlene Vorkenntnisse
Algorithmen und Datenstrukturen, verteilte Algorithmen und Datenstrukturen

none

Prerequisites of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Recommended Proficiencies
Algorithms and data structures, distributed algorithms and data structures

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* Nach einer kurzen Einführung in die Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie sowie der verteilten Programmierung stellt die Vorlesung fortgeschrittene Methoden für verteilte Algorithmen und Datenstrukturen vor. Themen sind unter anderem Zugriffskontrolle, Synchronisation, Konsensus, Informationsverbreitung, hybride Netze, Scheduling und Optimierung. Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. Die Vorlesung gibt eine Einführung in aktuelle, fortgeschrittene verteilte Algorithmen und Datenstrukturen. Neben der Präsentation der dafür notwendigen Protokolle werden diese auch rigoros auf ihre Korrektheit und Effizient hin analysiert. Die Vorlesung gliedert sich in folgende Kapitel: • Einführung • Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie • Zugriffskontrolle • Synchronisation • Konsensus • Informationsverbreitung • Hybride Netze • Scheduling • Optimierung Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. *Contents of the course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* After a short introduction of the foundations of graph and network theory as well as distributed programs, the lecture presents advanced methods in the area of distributed algorithms and data structures. Topics covered in the course are access control, synchronization, consensus, information dissemination, hybrid networks, scheduling, and optimization. In addition to presenting solutions to these topics, also concrete applications will be presented. The lecture gives an introduction to state-of-the-art advanced distributed algorithms and data structures. In addition to the presentation of the corresponding protocols, their correctness and efficienty will be shown in a rigorous way. The lecture is structured as follows: • Introduction • Fooundations of graph and network theory • Access control • Synchronization • Consensus • Information dissemination • Hybrid networks • Scheduling • Optimization In addition to presenting solution to these topics, also concrete applications will be presented.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • grundlegende analytische Techniken verstehen und anwenden, • grundlegende algorithmische Ansätze erklären und anwenden, • beurteilen, welche Auswirkungen diese Ansätze haben und • die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Ansätze einschätzen.

Students will be able to

- understand and apply basic analytical techniques,
- explain and use basic algorithmic approaches,
- judge which effects these approaches have, and
- know the limits of using these approaches.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Scheideler
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung nutzt Tafelanschrieb und Folien sowie kleine Aufgaben für die Studierenden während der Vorlesung. Sie wird durch Tutorien begleitet. Studierende haben in den Tutorien Gelegenheit, Aufgaben in der Gruppe zu bearbeiten und Lösungen von Übungsblättern mit den Tutoren zu diskutieren. **Lernmaterialien, Literatur** • Foliensatz der Vorlesung; Übungsblätter • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben *Remarks of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Implementation Method** The lecture uses a blackboard and slides as well as small exercises for the students during the lecture. It will be supported by tutorial groups. Students have the opportunity in tutorial groups to work on problems in a group and to discuss solutions of the exercise sheets with the tutors. **Learning Material, Literature** • Slides of the lecture; exercise sheets • Additional literature will be announced in the course

Approximate Computing

Approximate Computing

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4068	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	V3 Ü2	75	105	P	100/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.09758 Approximate Computing	L3 Ex2	75	105	C	100/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Modulen Digitaltechnik und Rechnerarchitektur sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Approximate Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design and Computer Architecture are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Approximate Computing:* Approximate Computing ist ein aktueller Ansatz, der die Genauigkeit von Berechnungen reduziert und dadurch signifikante Einsparungen im Energieverbrauch, der Rechenzeit oder der Chipfläche erzielt. Dieser forschungsorientierte Kurs führt in das Gebiet des Approximate Computing ein und stellt die wesentlichen Methoden für die Implementierung effizienter Rechnersysteme durch Reduktion der Genauigkeit vor. Der Kurs behandelt Approximationstechniken auf allen Ebenen eines Rechnersystems, von der Anwendungsebene bis hin zur Ebene der Hardwaretechnologie. In den Übungen/Tutorium wird die Effizienz dieser Techniken für verschiedene Anwendungsdomänen, wie zum Beispiel Deep Learning und Digital Signal Processing, untersucht. • Einführung und Motivation für ungenaues Rechnen • Approximation in der Anwendungsebene, z.B. für maschinelles Lernen und digitale Signalverarbeitung • Programmiersprachen/Compiler für Approximate Computing • Approximation in der Mikroarchitektur • Automatisierte Synthese von approximierten Schaltungen • Ungenaue arithmetische Komponenten und Performanceoptimierung durch Reduktion der Genauigkeit • Approximationstechniken in der Technologieebene • Übungen/Tutorial: Approximation von Algorithem des Deep Learning und Digital Signal Processing *Contents of the course Approximate Computing:* Approximate Computing is an emerging paradigm that trades-off computational accuracy for a significant reduction in energy, execution time, or chip area. This research-oriented course introduces to the field of Approximate Computing and its most remarkable aspects, and explains the main methods used to implement efficient computing systems by reducing accuracy. The course discusses approximations at all levels of a computing system, from applications down to hardware technologies. In exercise/tutorial sessions the efficiency of these techniques in various domains are examined, including deep learning and digital signal processing. • Introduction and motivation for approximate computing • Approximation at the application level, e.g., in machine learning and digital signal processing • Programming languages/compilers for approximate computing • Approximate microarchitectures • Automated synthesis of approximate circuits • Inexact arithmetic components and performance optimization via accuracy trade-offs • Approximation techniques at the technology level • Exercises/tutorial: Approximating deep learning and digital signal processing algorithms

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind nach dem Besuch der Lehrveranstaltung in der Lage,

- die Approximationstechniken auf den unterschiedlichen Ebenen eines Rechnersystems zu benennen und zu erklären,
- die wesentlichen technischen/wissenschaftlichen Problemstellungen bei der Approximation von Rechnersystemen zu identifizieren,
- die Einsetzbarkeit der Approximationstechniken für verschiedene Anwendungsdomänen zu beurteilen und
- die Approximationstechniken anzuwenden, um effiziente Hardwarebeschleuniger zu realisieren, insbesondere für Deep Learning und Digital Signal Processing

After attending this course, the students are able

- to name and explain approximation techniques at all levels of a computing system,
- to identify major engineering/research problems when building approximate computing systems,
- to judge the suitability of approximation techniques for different application domains, and
- to apply approximation techniques to realize efficient hardware accelerators, in particular for deep learning and digital signal processing

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Approximate Computing:
Methodische Umsetzung

- Vorlesung mit Beamer und Tafelanschrieb
- Interaktive Übungen/Diskussionen im Hörsaal
- Rechnerübungen

Lernmaterialien, Literaturangaben

- Vorlesungsfolie und Aufgabenblätter
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Zusätzliche Ressourcen und Links auf aktuelle Publikationen werden in der Vorlesung zur Verfügung gestellt.

Remarks of course Approximate Computing:
Implementation method

- Lecture with projector and black/white board
- Interactive exercises/discussions in the lecture room
- Computer-based tutorials

Learning Material, Literature

- Lecture slides, exercise sheets, and tutorial assignments
- Adrian Sampson, Luis Ceze, and Dan Grossman: Good-Enough Computing. IEEE Spectrum, 50(10):54-59, 2013
- Ravi Nair. Big Data Needs Approximate Computing: Technical Perspective. Communications of the ACM, 58(1): 104, 2015.
- Sparsh Mittal. A Survey of Techniques for Approximate Computing. ACM Computing Surveys, 48(4), 2016.
- Qiang Xu, Todd Mytkowitz, and Nam Sung Kim. Approximate Computing: A Survey. IEEE Design & Test, 33(1):8-22, 2016.
- Weiqiang Liu and Fabrizio Lombardi (Editors), Approximate Computing. Springer, 2022.
- Additional resources and links to current research papers are provided in the lecture.

Reconfigurable Computing			
Reconfigurable Computing			
Modulnummer / Module number: M.079.4043	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05703 Reconfigurable Computing	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse aus den Bachelor-Lehrveranstaltungen Digitaltechnik, Programmierung und Datenstrukturen und Algorithmen sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Reconfigurable Computing:
Recommended Proficiencies
Knowledge of the Bachelor-level courses Digital Design, Programming, and Data Structures and Algorithms are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* Die Veranstaltung Reconfigurable Computing führt in das Gebiet des Rechnens mit reprogrammierbaren Hardwarestrukturen ein. Rechnersysteme, die aus reprogrammierbaren Hardwarestrukturen aufgebaut sind, sind nicht auf eine feste Hardware angewiesen, sondern passen ihre Hardwarearchitektur an die auszuführende Anwendung an. Der Bereich entstand Anfang der 1990er Jahre, als Field-programmable Gate Arrays (FPGAs) auf den Markt kamen, die leistungsfähig genug waren, um für das Rechnen verwendet zu werden. Heute übertreffen FPGA-basierte Hochleistungssysteme bei vielen Problemen wie der Datenbanksuche, dem Scannen genomischer Sequenzen und der Kryptografie die modernsten Computer. In eingebetteten Systemen beschleunigen FPGAs die Systemfunktionen, reduzieren die Systemkosten und den Energieverbrauch und ermöglichen Hardware-on-demand-Funktionalität. Die Veranstaltung deckt die folgenden Themen ab: • Einführung in Reconfigurable Computing • Entwicklung von programmierbaren Hardware-Bausteinen • FPGA-Architekturen • Computergestütztes Design für FPGAs • Hochsprachen für die Programmierung von FPGAs • Anwendungsbereiche für FPGAs • Vergleich von reprogrammierbaren Hardwarebausteinen, Technologien und rekonfigurierbaren Systemen *Contents of the course Reconfigurable Computing:* The course Reconfigurable Computing introduces into the field of computing with reprogrammable hardware structures. Computing systems built from reprogrammable hardware structures do not rely on a fixed hardware, but adapt their hardware architecture to the application under execution. The field was formed in the early 1990s when Field-programmable Gate Arrays (FPGAs) became commercially available that were powerful enough to be used for computing. Today, FPGA-based high-performance systems have outperformed state-of-the-art computers for many problems including database search, genomic sequence scanning, and cryptography. In embedded systems, FPGAs accelerate system functions, reduce system cost and energy consumption, and enable hardware-on-demand functionality. The course covers the following topics: • Introduction to reconfigurable computing • Evolution of programmable hardware devices • FPGA architectures • Computer-aided design for FPGAs • High-level languages for programming FPGAs • Application domains for FPGAs • Comparison of devices, technologies, and reconfigurable systems

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- verschiedene reprogrammierbare Hardwarebausteine vergleichen und deren geschichtliche Entwicklung schildern,
- die Entwurfsschritte und Problemstellungen beim Entwurf mit FPGAs benennen,
- Algorithmen für die Entwurfsschritte analysieren und an Beispielen anwenden,
- aktuelle Ansätze zur Programmierung von FPGAs vergleichen und bewerten,
- die Eignung verschiedener reprogrammierbare Hardwarebausteine für verschiedene Einsatzgebiete begründen und
- Funktionen mittlerer Komplexität mit modernen FPGA Entwurfswerkzeugen praktisch umsetzen.

Students will be able to

- compare different reprogrammable hardware devices and describe their historical development,
- name the design steps and problems when designing with FPGAs,
- analyse algorithms for the design steps and apply them to examples,
- compare and evaluate current approaches to programming FPGAs,
- justify the suitability of different reprogrammable hardware components for different areas of application, and
- implement functions of medium complexity with modern FPGA design tools.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Marco Platzner
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Reconfigurable Computing:* **Methodische Umsetzung** Die Lehrveranstaltung besteht aus einer Vorlesung und Rechen- sowie praktischen Übungen. Die Vorlesung erfolgt mit Beamer und Tafelanschrieb. In den Rechenübungen werden Aufgaben ausgegeben und deren Lösungen werden in einer Übungseinheit vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich werden Quizze zur Selbsteinschätzung angeboten. In den praktischen Übungen wird ein Tutorial zum Entwurf mit FPGAs durchgeführt und dann Aufgaben ausgegeben, die in Gruppen von einem bis drei Teilnehmern als Entwurfs- bzw. Programmierbeispiele umgesetzt werden. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien, Aufgabenblätter für Rechenübungen, Quizze • Tutorial, Aufgabenblätter für Entwurfs- und Programmierbeispiele, technische Dokumentationen • Ausgewählte wissenschaftliche Artikel • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben.

Remarks of course Reconfigurable Computing:
Implementation Method
The course consists of a lecture, and pencil&paper as well as practical exercises. The lecture is held with a beamer and blackboard. In the pencil&paper exercises, problems are handed out and their solutions are presented and discussed in a practice session. In addition, quizzes are offered for self-assessments. In the practical exercises, a tutorial on the design with FPGAs is carried out and then tasks are handed out, which are implemented as design or programming examples in groups of one to three participants.
Learning Material, Literature

- Lecture slides, assignment sheets for paper&pencil exercises, quizzes
- Tutorial, assignment sheets for design and programming examples, technical documentation
- Selected scientific articles
- Additional literature will be announced in the course.

3.9 Informatik Focus Area Data Science and Intelligent Systems

Advanced Algorithms

Advanced Algorithms

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4002	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05801 Advanced Algorithms	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05801 Advanced Algorithms	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Algorithms:
Empfohlene Vorkenntnisse
Bereitschaft und Fähigkeit, den kreativen Prozess des Algorithmenentwurfs und die Effizienzanalyse mit mathematischen Methoden zu erlernen. Grundkenntnisse einiger grundlegender Algorithmen und Datenstrukturen und deren Analysen werden vorausgesetzt.

	none *Prerequisites of course Advanced Algorithms:* **Recommended Proficiencies** Willingness and ability to learn the creative process of algorithm design and efficiency analysis using mathematical methods. Basic Knowledge of some basic algorithms and data structures and their analyses is assumed.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Algorithms:* Dieser Kurs präsentiert fortgeschrittene Algorithmen und algorithmische Paradigmen für grundlegende Probleme. Insbesondere werden dabei Methoden wie Randomisierung und Derandomisierung, sowie die Konzepte von Approximations- und Onlinealgorithmen anhand wichtiger algorithmischer Probleme vorgstellt. In allen Fällen werden Korrektheitsbeweise und Laufzeitanalysen durchgeführt. • Randomisierte Algorithmen und Derandomisierung, Beispiele u.a. Randomized Rounding • Online Algorithmen, Beispiele u.a. ais dem Bereich Scheduling • Approximationsalgorithmen, Beispiele u.a. NP-schwere Probleme *Contents of the course Advanced Algorithms:* This course presents advanced algorithms and algorithmic paradigms for fundamental problems. More precisely, methods like randomization and derandomization as well as concepts for approximation and online algorithms will be presented by illustrating their usefulness for important algorithmic problems. In all cases, the correctness and runtime will be rigorously analyzed. • Randomized algorithmens and derandomization, for example, randomized rounding • Online algorithms, for example, scheduling algorithms • Approximation algorithms, for example, NP-hard problems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • grundlegende Analysetechniken verstehen und anwenden, • grundlegende algorithmische Ansätze erklären und anwenden, • beurteilen, welche Auswirkungen diese Ansätze haben und • die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Ansätze einschätzen. Students will be able to • understand and apply basic analytical techniques, • explain and apply basic algorithmic approaches, • judge which effects these approaches have, and • know the limits of using these approaches.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Scheideler
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Algorithms:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung nutzt Tafelanschrieb und Folien sowie kleine Aufgaben für die Studierenden während der Vorlesung. Sie wird durch Tutorien begleitet. Studierende haben in den Tutorien Gelegenheit, Aufgaben in der Gruppe zu bearbeiten und Lösungen von Übungsblättern mit den Tutoren zu diskutieren. **Lernmaterialien, Literatur** • Foliensatz der Vorlesung; Übungsblätter • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben *Remarks of course Advanced Algorithms:* **Implementation Method** The lecture uses a blackboard and slides as well as small exercises for the students during the lecture. It will be supported by tutorial groups. Students have the opportunity in tutorial groups to work on problems in a group and to discuss solutions of the exercise sheets with the tutors. **Learning Material, Literature** • Slides of the lecture; exercise sheets • Additional literature will be announced in the course

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4006	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Empfohlene Vorkenntnisse
Algorithmen und Datenstrukturen, verteilte Algorithmen und Datenstrukturen

none

Prerequisites of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Recommended Proficiencies
Algorithms and data structures, distributed algorithms and data structures

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* Nach einer kurzen Einführung in die Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie sowie der verteilten Programmierung stellt die Vorlesung fortgeschrittene Methoden für verteilte Algorithmen und Datenstrukturen vor. Themen sind unter anderem Zugriffskontrolle, Synchronisation, Konsensus, Informationsverbreitung, hybride Netze, Scheduling und Optimierung. Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. Die Vorlesung gibt eine Einführung in aktuelle, fortgeschrittene verteilte Algorithmen und Datenstrukturen. Neben der Präsentation der dafür notwendigen Protokolle werden diese auch rigoros auf ihre Korrektheit und Effizient hin analysiert. Die Vorlesung gliedert sich in folgende Kapitel: • Einführung • Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie • Zugriffskontrolle • Synchronisation • Konsensus • Informationsverbreitung • Hybride Netze • Scheduling • Optimierung Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. *Contents of the course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* After a short introduction of the foundations of graph and network theory as well as distributed programs, the lecture presents advanced methods in the area of distributed algorithms and data structures. Topics covered in the course are access control, synchronization, consensus, information dissemination, hybrid networks, scheduling, and optimization. In addition to presenting solutions to these topics, also concrete applications will be presented. The lecture gives an introduction to state-of-the-art advanced distributed algorithms and data structures. In addition to the presentation of the corresponding protocols, their correctness and efficienty will be shown in a rigorous way. The lecture is structured as follows: • Introduction • Fooundations of graph and network theory • Access control • Synchronization • Consensus • Information dissemination • Hybrid networks • Scheduling • Optimization In addition to presenting solution to these topics, also concrete applications will be presented.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • grundlegende analytische Techniken verstehen und anwenden, • grundlegende algorithmische Ansätze erklären und anwenden, • beurteilen, welche Auswirkungen diese Ansätze haben und • die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Ansätze einschätzen.

Students will be able to

- understand and apply basic analytical techniques,
- explain and use basic algorithmic approaches,
- judge which effects these approaches have, and
- know the limits of using these approaches.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Scheideler
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung nutzt Tafelanschrieb und Folien sowie kleine Aufgaben für die Studierenden während der Vorlesung. Sie wird durch Tutorien begleitet. Studierende haben in den Tutorien Gelegenheit, Aufgaben in der Gruppe zu bearbeiten und Lösungen von Übungsblättern mit den Tutoren zu diskutieren. **Lernmaterialien, Literatur** • Foliensatz der Vorlesung; Übungsblätter • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben *Remarks of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Implementation Method** The lecture uses a blackboard and slides as well as small exercises for the students during the lecture. It will be supported by tutorial groups. Students have the opportunity in tutorial groups to work on problems in a group and to discuss solutions of the exercise sheets with the tutors. **Learning Material, Literature** • Slides of the lecture; exercise sheets • Additional literature will be announced in the course

Data Science for Software Engineering			
Data Science for Software Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.4101	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05817 Data Science for Software Engineering	V2 Ü3	75	105	P	30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05817 Data Science for Software Engineering	L2 Ex3	75	105	C	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Data Science for Software Engineering:
Empfohlene Vorkenntnisse
Gute Programmierkenntnisse in Java und/oder Python sind hilfreich, um die Aufgaben zu erledigen. Grundlegende Hintergrundinformationen zum maschinellen Lernen sind hilfreich, um einige der Data-Science-Konzepte zu verstehen.

Prerequisites of course Data Science for Software Engineering:
Recommended Proficiencies
Good programming skills using Java and/or Python is helpful to make the assignments. Basic background on machine learning is helpful to understand some of the Data Science concepts.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Data Science for Software Engineering:* Softwareentwickler befassen sich bei ihrer täglichen Arbeit mit Software-Repositorien, etwa wenn sie Quellcode in Versionsverwaltungssystemen schreiben, Issues in Issue-Trackern posten, per E-Mail in Mailinglisten kommunizieren oder in Foren und Blogs diskutieren. Die großen Datenmengen in Software-Repositorien, ihre kontinuierliche Weiterentwicklung, Komplexität und Heterogenität stellen eine Herausforderung für Softwareentwickler dar. In den vergangenen Jahren haben Forscher Ansätze vorgeschlagen, die Methoden aus der Data Science Wissenschaftsfeld verwenden, um Softwareentwickler zu unterstützen. In dieser Lehrveranstaltung wird die Anwendung von Data-Science-Methoden auf Software- Repositorien erläutert, um allgemeine Software-Engineering-Aufgaben zu lösen. Die Lehrveranstaltung umfasst folgende Themen: • Arten und Struktur von Software-Repositorien. • Clustering von Quellcode. • Pipeline zur Verarbeitung natürlicher Sprache. • Themenmodellierung • Worteinbettung. • Information retrieval. • Überwachtes maschinelles Lernen. • Statistische Analyse. Konzepte werden in den Vorlesungen besprochen und mithilfe einer Reihe von Gruppenaufgaben angewendet, um Open-Source-Systeme zu analysieren und bestimmte Softwarearchitektur- und Wartungsaufgaben zu erfüllen. *Contents of the course Data Science for Software Engineering:* Software engineers deal with software repositories in their daily work, such as when they develop source code in version control systems, or post issues in issue trackers, or communicate through emails in mailing lists, or discuss in forums and blogs. The big amount of data in software repositories, their continuous evolution, complexity and heterogeneity present a challenge for software engineers. In the past years, researchers proposed approaches that use techniques from the data science to support software engineers. This course will explain the application of data science techniques on software repositories to achieve common software engineering tasks. The course includes the following topics: • Types and structure of software repositories. • Clustering of source code. • Natural language processing pipeline. • Topic modeling. • Word embedding. • Information retrieval. • Supervised machine learning. • Statistical analysis. Concepts are discussed in the lectures and applied using a set of group assignments to analyze opensource systems, ans achieve certain software architecture and maintenance tasks.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- Arten und Struktur von Software-Repositorien klären und diskutieren.
- die Hauptkonzepte von Data Science Methoden und deren Anwendung auf Software-Repositorien klären und diskutieren.
- Data Science Methoden auf große Software-Repositorien anwenden.
- aus den Analyseergebnissen nützliche Implikationen ableiten.
- analyseergebnisse in einem wissenschaftlichen Format zusammenfassen und berichten.
- in Gruppen arbeiten.
- einen fachlichen Vortrag halten.
- wissenschaftlich schreiben.

Students will be able to

- Clarify and discuss types and structure of software repositories.
- Clarify and discuss main concepts of data science techniques, and their application on sotware repositories.
- Apply data science techniques on large-scale software repositories.
- Derive useful implications from the analysis results.
- Summarize and report analysis results in a scientific format.
- Work in teams.
- Write scientific reports
- Present research results

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 min bzw. 30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 min or 30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben und Kurzreferate		SL

zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
a)	Assignments and short presentations		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mohamed Aboubakr Mohamed Soliman
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Data Science for Software Engineering:* **Methodische Umsetzung** Der Schwerpunkt des Kurses liegt mehr auf der Anwendung von Data-Science-Methoden in der Softwareentwicklung als auf dem mathematischen Hintergrund von Data-Science-Methoden. Die Konzepte der Methoden werden durch eine Präsentation im Rahmen einer Vorlesung vermittelt und die Anwendung der Methoden durch Gruppenaufgaben und Präsentationen vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Neben den Folien werden zu jedem Thema weitere Lernmaterialien aus prominenten Publikationen der Software-Engineering-Literatur bereitgestellt. *Remarks of course Data Science for Software Engineering:* **Implementation Method** The course focus on the application of data science methods in software engineering more than the mathematical background of data science methods. The main concepts of methods are conveyed through a presentation as part of a lecture and the application of methods is further investigated through group assignments and presentations. **Learning Material, Literature** Beside the slides, further learning materials from prominent publications in the software engineering literature will be provided for each topic.

Data Science in Industrial Applications			
Data Science in Industrial Applications			
Modulnummer / Module number: M.079.4075	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05795 Data Science in Industrial Applications	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05795 Data Science in Industrial Applications	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Data Science in Industrial Applications:* Die Lehrveranstaltung "Data Science in Industrial Applications" beschäftigt sich mit den Methoden und Techniken der Datenanalyse im industriellen Kontext. Die Studierenden erlernen grundlegende Konzepte der Datenanalyse und lernen, wie sie diese in der Praxis anwenden können. Die zunehmende Vernetzung von Maschinen, Sensoren und IT-Systemen vor dem Hintergrund der Industrie 4.0 hat zu einem rapiden Anstieg der verfügbaren Datenmengen geführt. Die Auswertung der Daten bietet ein enormes Potential für die Automatisierung von kognitiven Aufgaben, die Optimierung von Prozessen und die weitergehende Wertschöpfung aus Daten. Die Vorlesung gibt einen Überblick zu den Herausforderungen und Lösungsansätzen für die industrielle Anwendung von Data Science. Dies umfasst die Einbindung industrieller Datenquellen aus dem Feld, die IT-Landschaft in produzierenden Unternehmen und den Aufbau von (Big Data) Infrastruktur, typische Algorithmen im Bereich Zeitreihenverarbeitung, Optimierung oder Bildverarbeitung sowie die Einbettung in Unternehmensprozesse. Theoretische und methodische Grundlagen, Konzepte und Tools werden im Rahmen der Vorlesung eingeführt und anhand einer Case Study in Kleingruppen angewendet sowie in Heimübungen vertieft. Die theoretischen Konzepte zur Planung, Einführung und Durchführung von Industrial Data Science in der Theorie werden durch praktische reale Beispiele ergänzt. *Contents of the course Data Science in Industrial Applications:* The course "Data Science in Industrial Applications" deals with the methods and techniques of data analysis in an industrial context. Students learn basic concepts of data analysis and how to apply them in practice. The increasing networking of machines, sensors and IT systems in the context of Industry 4.0 has led to a rapid increase in the amount of available data. The analysis of data offers enormous potential for the automation of cognitive tasks, the optimization of processes and the further creation of value from data. The lecture will provide an overview of the challenges and solution approaches for the industrial application of Data Science. This includes the integration of industrial data sources from the field, the IT landscape in manufacturing companies and the setup of (Big Data) infrastructure, typical algorithms in the area of time series processing, optimization or image processing as well as the embedding in business processes. Theoretical and methodological basics, concepts and tools are introduced during the lecture and applied in small groups based on a case study as well as deepened in home exercises. The theoretical concepts for the planning, introduction and implementation of Industrial Data Science in theory are supplemented by practical real-life examples.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die Herausforderungen der Anwendung von Data Science in industriellen Anwendungen, • besitzen einen Überblick typischer Anwendungsbeispiele, • können Methoden der Signalverarbeitung, des Maschinellen Lernens und der Statistik auf industrielle Problemstellungen anwenden, • können die Umsetzung von Datenakquise, Datenarchitektur und die Integration in Unternehmensprozesse planen, • sind in der Lage, Lösungen eigenständig und kooperativ zu erarbeiten, • beherrschen grundlegende Fähigkeiten des Projektmanagements.

Students

- understand the challenges of applying Data Science in industrial applications,
- have an overview of typical application examples,
- are able to apply methods of signal processing, machine learning, and statistics to industrial problems,
- are able to plan the implementation of data acquisition, data architecture, and integration into business processes,
- are able to develop solutions on their own as well as in cooperation,
- are proficient in basic project management skills.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Data Science in Industrial Applications:
Methodische Umsetzung
Die Lehrveranstaltung umfasst Vorlesungen (Folienbasiert), Übungen (interaktiv) und Projektarbeit. In den Vorlesungen werden die theoretischen Grundlagen der Datenanalyse im industriellen Kontext vermittelt. In den Übungen haben die Studierenden die Möglichkeit, das Gelernte anhand praktischer Aufgaben anzuwenden. Die Projektarbeit bietet den Studierenden die Möglichkeit, das erlernte Wissen in einem größeren Kontext anzuwenden und anzuwenden. In der Übung erfolgt ein Wissenstransfer und Anwendung der Konzepte an einer Case Study in Form von Workshops und Umsetzung einer Industrial Analytics Anwendung in selbstständiger Gruppenarbeit.
Lernmaterialien, Literaturangaben
Eine genauere Aufstellung über die Vorlesungsmaterialien und Literaturangaben erfolgt in der ersten Veranstaltung. Einen guten ersten Einblick in das Themenfeld geben:

- Wiendahl, Hans-Peter; Wiendahl, Hans-Hermann (2019): Betriebsorganisation für Ingenieure. 9., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary).
- Zahn, Erich; Schmid, Uwe (1996): Grundlagen und operatives Produktionsmanagement. Mit 42 Tabellen. Stuttgart: Lucius & Lucius (Grundwissen der Ökonomik Betriebswirtschaftslehre, 1).
- Günther Schuh; Achim Kampker: Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management 1 (VDI-Buch) (German Edition).
- Schuh, Günther; Riesener, Michael (2018): Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools. 3., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary). Online verfügbar unter http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446453340.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (2014): Produktionsmanagement. DOI: 10.1007/978-3-642-54288-6.
- Bishop, Christopher M. (2006): Pattern recognition and machine learning. New York: Springer (Information science and statistics).
- Cao, Longbing (2018): Data Science. In: ACM Comput. Surv. 50 (3), S. 1–42. DOI: 10.1145/3076253.
- Geron, Aurelien (2019): Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: O'Reilly Media.
- Goodfellow, Ian; Bengio, Yoshua; Courville, Aaron (2016): Deep Learning. MIT Press.
- James, Gareth; Witten, Daniela; Hastie, Trevor; Tibshirani, Robert (2013): An Introduction to Statistical Learning. New York, NY: Springer New York (103).
- Mitchell, Tom M. (1997): Machine Learning. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill series in computer science).
- Runkler, Thomas A. (2016): Data Analytics. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Russell, Stuart (2009): Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd Edition. Pearson.
- Schutt, Rachel; O'Neil, Cathy (2013): Doing data science. Straight talk from the frontline. 1. ed. Beijing: O'Reilly.

Remarks of course Data Science in Industrial Applications:

Implementation Method

The course includes lectures (slide-based), exercises (interactive), and project work. In the lectures, the theoretical basics of data analysis in an industrial context are taught. In the exercises, students have the opportunity to apply what they have learned by means of practical tasks. The project work offers the students the opportunity to apply the learned knowledge in a larger context. In the exercise, knowledge transfer and application of the concepts take place in a case study in the form of workshops and implementation of an industrial analytics application in independent group work.

Learning Material, Literature

A more detailed list of the lecture materials and references will be given in the first course. A good first insight into the subject area is given by:

- Wiendahl, Hans-Peter; Wiendahl, Hans-Hermann (2019): Betriebsorganisation für Ingenieure. 9., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary).
- Zahn, Erich; Schmid, Uwe (1996): Grundlagen und operatives Produktionsmanagement. Mit 42 Tabellen. Stuttgart: Lucius & Lucius (Grundwissen der Ökonomik Betriebswirtschaftslehre, 1).
- Günther Schuh; Achim Kampker: Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management 1 (VDI-Buch) (German Edition).
- Schuh, Günther; Riesener, Michael (2018): Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools. 3., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary). Online verfügbar unter http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446453340.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (2014): Produktionsmanagement. DOI: 10.1007/978-3-642-54288-6.
- Bishop, Christopher M. (2006): Pattern recognition and machine learning. New York: Springer (Information science and statistics).
- Cao, Longbing (2018): Data Science. In: ACM Comput. Surv. 50 (3), S. 1–42. DOI: 10.1145/3076253.
- Geron, Aurelien (2019): Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: O'Reilly Media.
- Goodfellow, Ian; Bengio, Yoshua; Courville, Aaron (2016): Deep Learning. MIT Press.
- James, Gareth; Witten, Daniela; Hastie, Trevor; Tibshirani, Robert (2013): An Introduction to Statistical Learning. New York, NY: Springer New York (103).
- Mitchell, Tom M. (1997): Machine Learning. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill series in computer science).
- Runkler, Thomas A. (2016): Data Analytics. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Russell, Stuart (2009): Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd Edition. Pearson.
- Schutt, Rachel; O'Neil, Cathy (2013): Doing data science. Straight talk from the frontline. 1. ed. Beijing: O'Reilly.

Explainable Artificial Intelligence			
Explainable Artificial Intelligence			
Modulnummer / Module number: M.079.4091	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.079.05807 Explainable Artificial Intelligence	V2 Ü1 P2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05807 Explainable Artificial Intelligence	L2 Ex1 P2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Explainable Artificial Intelligence:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundkenntnisse in maschinellem Lernen und Programmierung

none

Prerequisites of course Explainable Artificial Intelligence:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in machine learning and programming

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Explainable Artificial Intelligence:* Die Vorhersagen von Modellen des maschinellen Lernens zu erklären wird für immer mehr Anwendungen wichtig. Bankkunden möchten zum Beispiel wissen, warum ihr Kredit abgelehnt wurde; Entwickler möchten ihre Modelle debuggen und verbessern; Manager möchten die Einhaltung von gesetzlichen Vorschriften sicherstellen. Dieser Kurs zielt darauf ab, die Vorhersagen von Modellen des maschinellen Lernens zu erklären, und stellt verschiedene Erklärungsmethoden vor. Erklärungsmethoden können danach unterschieden werden, ob sie spezifisch für ein bestimmtes Modell oder modellunabhängig sind und ob sie eine einzelne Vorhersage oder das gesamte Modell erklären. • Einführung (z.B. Wichtigkeit der Interpretierbarkeit, Evaluierung der Interpretierbarkeit, Datensätze für Fallstudien) • Interpretierbare Modelle (z. B. lineare Regression, logistische Regression, Entscheidungsbäume, Entscheidungsregeln) • Globale modell-agnostische Methoden (z. B., Partial Dependence Plots, Permutation Feature Importance, Global Surrogate Models) • Lokale modell-agnostische Methoden (z. B. LIME, SHAP, Anchors, kontrafaktische Erklärungen) • Modell-spezifische Methoden (z. B. für neuronale Netze) *Contents of the course Explainable Artificial Intelligence:* Explaining the predictions of machine learning models is important in an increasing number of applications. For example, bank customers would like to know why their loan was denied; machine learning engineers would like to debug and improve their models; managers would like to ensure regulatory compliance. This course aims to explain the predictions of machine learning models and introduces different explanation methods to do so. Explanation methods can be distinguished whether they are specific to a certain model or model-agnostic and whether they explain an individual prediction or the entire model. • Introduction (e.g., importance of interpretability, evaluation of interpretability, datasets used in case studies) • Interpretable models (e.g., linear regression, logistic regression, decision trees, decision rules) • Global model-agnostic methods (e.g., partial dependence plots, permutation feature importance, global surrogate models) • Local model-agnostic methods (e.g., LIME, Anchors, SHAP, counterfactual explanations) • Model-specific methods (e.g., for neural networks)

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage

- die Wichtigkeit der Interpretierbarkeit zu erkennen und zu diskutieren
- wichtige Erklärungsmethoden (z.B. interpretierbare Modelle, modell-agnostische Methoden und modell-spezifische Methoden) zu erklären und anzuwenden
- Charakteristika von Datensätzen, Machine-Learning-Aufgaben und Machine-Learning-Modellen in Anwendungsproblemen zu erkennen und zu argumentieren, welche Erklärungsmethode für ein bestimmtes Problem geeignet ist
- einfache Erklärungsmethoden von Grund auf zu implementieren
- vorhandene Erklärungsmethoden zu erweitern und zu modifizieren
- Probleme und Lösungsvorschläge mit Experten auf dem Gebiet zu diskutieren
- Forschungsliteratur aus dem XAI Bereich zu lesen und zu diskutieren

After completing the module, students will be able to

- recognize and discuss the importance of interpretability
- explain and apply important explanation methods (e.g., interpretable models, model-agnostic methods, and model-specific methods)
- recognize characteristics of datasets, machine learning tasks, and machine learning models in application problems and argue which explanation method is appropriate for a given problem
- implement simple explanation methods from scratch
- extend and modify existing explanation methods
- discuss problems and proposed solutions with experts in the field
- read and discuss research literature in the area of XAI

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Dr. Stefan Heindorf

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Explainable Artificial Intelligence:
Methodische Umsetzung
Folien und Tafelanschrieb. Wichtige Konzepte und Techniken werden durch Übungen im Vorlesungsraum und in den Tutorien geübt und in einem Miniprojekt angewendet.
Lernmaterialien, Literaturangaben

- Folien
- Übungen
- Buch: Christoph Molnar. Interpretable machine learning. 2020.
- Zusätzliches Material und Literatur wird in der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.

Remarks of course Explainable Artificial Intelligence:
Implementation method
Slides and blackboard writing. Important concepts and techniques will be practiced through exercises in the lecture room and tutorials, and applied in a mini-project.
Learning Material, Literature

- Slides
- Exercises
- Book: Christoph Molnar. Interpretable machine learning. 2020.
- Additional material and literature will be announced in the course.

Foundational Methods for Knowledge Representation and Reasoning

Foundational Methods for Knowledge Representation and Reasoning

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4210	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05811 Parameterized Algorithms and Complexity	V3 Ü2	75	105	P	35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05811 Parameterized Algorithms and Complexity	L3 Ex2	75	105	C	35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Parameterized Algorithms and Complexity:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlegende Kenntnisse zu Algorithmen und ihrer Analyse, Komplexitätstheorie (Komplexitätsklassen, Turing-Maschinen, NP-Vollständigkeit) sowie Prädikatenlogik

none

Prerequisites of course Parameterized Algorithms and Complexity:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge of algorithms and their analysis, complexity theory (complexity classes, Turing machines, NP-completeness) as well as first-order logic

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Parameterized Algorithms and Complexity:* Dieser Kurs gibt eine Einführung in die Theorie der parametrisierten Komplexität. Er • gibt eine Einführung in die Grundlegenden Ideen der parametrisierten Komplexiät, • behandelt verschiedene algorithmische Techniken, die dabei helfen, effiziente Algorithmen (in Hinblick auf ihre parametrisierte Komplexität) zu konstruieren, beispielsweise Kernelisierung und beschränkte Suchbäume, • behandelt zentrale Konzepte und Methoden der Theorie der Schwere von Problemen in der parametrisierten Komplexität, insbesondere fpt-Reduktionen sowie die W-Hierarchie und A-Hierarchie, • gibt eine kurze Einführung in die fein-granulare Komplexität. *Contents of the course Parameterized Algorithms and Complexity:* The course gives an introduction to parameterized complexity theory. It • gives an introduction to the foundational ideas of parameterized complexity • covers several algorithmic techniques that help constructing efficient algorithms (with respect to parameterized complexity), such as kernelization and bounded search trees, • covers the central concepts and tools of the hardness theory in parameterized complexity, in particular fpt-reductions as well as the W-hierarchy and A-hierarchy, and • gives a brief introduction to fine-grained complexity.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • in der Vorlesung behandelte Begriffe kompetent verwenden und erläutern • in der Vorlesung behandelte Beweise und Beweistechniken wiedergeben und erläutern, inklusive algorithmischer Techniken • insbesondere können sie die Beweise für Korrektheit und Laufzeit der behandelten Algorithmen wiedergeben und erläutern • konstruktive Beweise und Verfahren aus der Vorlesung auf konkrete Instanzen anwenden • die Beweistechniken und algorithmischen Techniken aus der Vorlesung auf neue, ähnliche Probleme anwenden Students will be able to • use the technical notions covered in the lecture competently and explain these notions • reproduce and explain the proofs and proof techniques covered in the lecture, including algorithmic techniques • in particular, reproduce and explain proofs of correctness and running time of the covered algorithms • apply constructive proofs and formal methods from the lecture to specific instances • apply the proof techniques and algorithmic techniques on new, similar problems

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or presentation	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Referat		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or presentation		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Anni-Yasmin Turhan
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Parameterized Algorithms and Complexity:* **Methodische Umsetzung** Die Inhalte werden via Beamer oder am Whiteboard präsentiert. In den Übungen gibt es die Möglichkeit, das Verständnis der Inhalte zu vertiefen und die Zielkompetenzen des Kurses zu üben. Die Vorlesung folgt größtenteils ausgewählten Kapiteln der folgenden Literatur: • *Parameterized Algorithms* by M. Cygan, F. V. Fomin, L. Kowalik, D. Lokshtanov, D. Marx, M. Pilipczuk, M. Pilipczuk, S. Saurabh (Springer 2015). • *Parameterized Complexity Theory* by J. Flum, M. Grohe (Springer 2006). • Weitere Literatur wird ggf. in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Parameterized Algorithms and Complexity:* **Implementation Method** Content is presented via beamer presentation or on white board. Exercises provide opportunities to deepen the understanding of the content and train the competences obtained in the course. The lecture in most part follows select chapters of the following literature: • *Parameterized Algorithms* by M. Cygan, F. V. Fomin, L. Kowalik, D. Lokshtanov, D. Marx, M. Pilipczuk, M. Pilipczuk, S. Saurabh (Springer 2015). • *Parameterized Complexity Theory* by J. Flum, M. Grohe (Springer 2006). • Additional literature might be announced in the course.

Foundations of Knowledge Graphs			
Foundations of Knowledge Graphs			
Modulnummer / Module number: M.079.4054	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05806 Foundations of Knowledge Graphs	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05806 Foundations of Knowledge Graphs	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Foundations of Knowledge Graphs:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse in Graphentheorie und Logik sind hilfreich.

none

Prerequisites of course Foundations of Knowledge Graphs:
Recommended Proficiencies
Knowledge of Graph theory and logics is beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Foundations of Knowledge Graphs:* Wissensgraphen werden in immer mehr Anwendungen eingesetzt. Große Organisationen wie Google, Yahoo! und die BBC nutzen diese Technologien, um den Zugriff auf die von ihnen verwalteten großen Datenmengen zu organisieren und zu verwalten. Diese Vorlesung soll Ansätze zum Aufbau, zur Speicherung, zur Abfrage und zur Nutzung von Wissensgraphen, insbesondere in intelligenten Anwendungen, vorstellen. Wir beginnen mit der Untersuchung von Techniken zur Wissensrepräsentation für Wissensgraphen. Anschließend werden Technologien zur Abfrage und Speicherung von Wissen (z. B. Graphdatenbanken) vorgestellt. Es folgen Techniken des maschinellen Lernens zum Einbetten von Wissensgraphen und deren Anpassung an Anwendungen, die auf klassischem maschinellem Lernen basieren. Abschließend werden wir spezielle Ansätze für das Lernen auf Wissensgraphen untersuchen. Die wichtigsten Themen des Moduls sind daher wie folgt: • Semantische Netzwerke • RDF(S)-Graphen • Property-Graphen • Beschreibungslogik und OWL • Einbettungen von Wissensgraphen • Erklärbares maschinelles Lernen auf Wissensgraphen *Contents of the course Foundations of Knowledge Graphs:* Knowledge graphs are used in an increasing number of applications. Large organisations such as Google, Yahoo! and the BBC rely on these technologies to organise and manage the access to the the large amounts of data they manage. This lecture aims to present approaches for building, storing, querying and using knowledge graphs, especially in intelligent applications. We will being by studying knowledge representation techniques for knowledge graphs. Technologies for querying and storing knowledge (e.g., graph databases) will be presented subsequently. Machine learning techniques for embeddings knowledge graphs and making them amenable to applications driven by classical machine learning will follow. Finally, we will study dedicated approaches for learning on knowledge graphs. The key topics of the module are hence as follows: • Semantic networks • RDF(S) graphs • Property graphs • Description logics and OWL • Knowledge graph embeddings • Explainable machine learning on knowledge graphs
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind nach Absolvieren des Moduls in der Lage • Wissensgraphen einschließlich ihrer Semantik zu modellieren • Wissensgraphen abzufragen • Einbettungen für Wissensgraphen zu berechnen • Wissensgraphen in intelligenten Anwendungen zu verwenden

The students can carry out the following after the completion of the module:

- Model knowledge graphs including their semantics
- Query knowledge graphs
- Compute embeddings for knowledge graphs
- Use knowledge graphs in intelligent applications

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Foundations of Knowledge Graphs:* **Methodische Umsetzung** Wöchentliche Vorlesungen (2 SWS) mit neuen Inhalten zu dedizierten Themen. Prämissen und Umsetzungen dieser Prämissen werden vorgestellt. 1 SWS Seminar mit Übungsaufgaben zu den formalen und praktischen Konzepten aus der Vorlesung. 2 SWS Mini-Projekt zu einer komplexeren Aufgabe aus dem Themengebiet. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Folien, Übungsaufgaben *Remarks of course Foundations of Knowledge Graphs:* **Implementation method** 2 SWS of lectures within which the students will be presented with novel content weekly. The lecture will be self-contained with the students being presented with the premises for understanding particular aspects of knowledge graphs as well as with the corresponding conclusions and approaches derived from these premises. 1 SWS of exercises allow the students to deal with the concepts presented in the lecture through formal analysis and programming. The 2 SWS of mini-projects ensure that the students obtain a holistic understanding of the concepts learned by applying them to a more complex task than the one addressed in the exercises. **Learning Material, Literature** Slides, homework assignments

Machine Learning 1

Machine Learning 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4032	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	V3 Ü2	75	105	P	75/25

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05701 Machine Learning 1	L3 Ex2	75	105	C	75/25

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen in Mathematik (lineare Algebra, Statistik), Programmierung und Algorithmen.

none

Prerequisites of course Machine Learning 1:
Recommended Proficiencies
Basic knowledge in mathematics (linear algebra, statistics), programming and algorithms.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* Aufgrund der stetig wachsenden Menge an Daten, die in unserer Informationsgesellschaft systematisch produziert wird, hat das Maschinelle Lernen in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen, nicht nur als wissenschaftliche Disziplin sondern auch als Schlüsseltechnologie für moderne Software und intelligente Systeme. Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das Maschinelle Lernen, wobei der Fokus auf dem überwachten Lernen für Klassifikation und Regression liegt. Theoretische Grundlagen der Generalisierung werden ebenso behandelt wie praktische Aspekte und konkrete Lernalgorithmen. • Introduction • Foundations (The learning problem, Generalization Theory, Bias-Variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML) *Contents of the course Machine Learning 1:* Due to the ever increasing amount of data that is routinely produced in our information society, the topic of machine learning has become increasingly important in the recent years, not only as a scientific discipline but also as a key technology of modern software and intelligent systems. This lecture provides an introduction to the topic of machine learning, with a specific focus on supervised learning for classification and regression. The lecture covers theoretical foundations of generalisation as well as practical topics and concrete learning algorithms. • Introduction • Foundations (e.g., the learning problem, generalization theory, bias-variance tradeoff) • Techniques (e.g., The linear model, non-linear techniques, SVM, tree-based methods, ensembles, deep learning) • Validation and practical implementations (e.g., metrics, training vs testing, cross-validation, AutoML)
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die statistischen Grundlagen der Generalisierung, d.h. der Induktion von Modellen aus Daten, sowie den gesamten Prozess des maschinellen Lernens. • können grundlegende Methoden und Algorithmen des überwachten Lernens für Klassifizierung und Regression implementieren und in der Praxis anwenden. Gegebenenfalls können sie auch notwendige Anpassungen vornehmen. • verstehen praktische Tools für die Modellvalidierung und für das automatisierte maschinelle Lernen und können diese anwenden. • bewerten die Vor- und Nachteile des Einsatzes verschiedener Techniken des maschinelles Lernen in verschiedenen Situationen.

The students

- understand the statistical foundations of generalisation, i.e., the induction of models from data, and the complete machine learning pipeline.
- implement basic methods of supervised learning for classification and regression, apply them to real-world examples, and make necessary adaptations.
- understand and use practical tools for model validation and automated machine learning pipelines.
- assess the advantages and disadvantages of using various machine learning techniques in various situations.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning 1:* **Methodische Umsetzung** Theoretische Grundlagen und Konzepte des Maschinellen Lernens werden im Rahmen einer Vorlesung eingeführt und anschließend in praktischen Übungen in Kleingruppen sowie in Heimübungen vertieft ergänzt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Skript • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006. *Remarks of course Machine Learning 1:* **Implementation method** Theoretical foundations and concepts of machine learning will be taught in the form of a lecture and deepened in practical exercise courses, group work as well as individual homework. **Learning Material, Literature** • Script • Y.S. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.T. Lin. Learning from Data, AMLBook, 2012. • P. Flach. Machine Learning, Cambridge Univ. Press, 2012. • E. Alpaydin. Machine Learning, Oldenbourg, 2008. • C.M. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, 2006.

Machine Learning for Biometrics			
Machine Learning for Biometrics			
Modulnummer / Module number: M.079.4088	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:
Unter biometrischer Verifikation versteht man die automatische Erkennung von Personen auf der Grundlage ihrer Verhaltensweisen oder biologischen Merkmalen. Die Veranstaltung wird einen Überblick über moderne biometrische Systeme geben und speziell auf deren Funktionsweise und Herausforderungen eingehen. Dafür werden verschiedenste Ansätze maschinellen Lernens eingeführt, die darauf abzielen eine zuverlässige biometrische Erkennung (z.B. mittels Gesichtserkennung) zu ermöglichen. Zugleich stellen biometrische Anwendungen ganz eigene Anforderungen an die zugrundeliegenden Algorithmen. Die Veranstaltung wird speziell auf diese Anforderungen eingehen und wie man diese algorithmisch und im Lernprozess begegnen kann. Dies beinhaltet die Themen Privatsphäre, Fairness, Erklärbarkeit, Unsicherheiten, Effizienz, Angriffe und deren automatisierte Erkennung.
Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte:

- Biometrische Systeme, Funktionsweisen und Evaluierung
- Zusammenfassung über traditionelles und tiefes Lernen
- Gesichts-, Iris- und Fingerabdruckerkennung
- Soft-Biometrie und Privatsphäre
- Fairness und Bias in biometrischen Systemen
- Erklärbarkeit und Zuverlässigkeit biometrischer Systeme
- Qualität biometrischer Daten
- Effiziente biometrische Systeme
- Präsentationsangriffe und Erkennung
- Multibiometrische Fusion
- Biometrische Indizierung

Contents of the course Machine Learning for Biometrics:
Biometric verification is defined as the automated recognition of individuals based on their behavioral or biological characteristics. The course will give an overview of modern biometric systems and specifically address their functionality and challenges. For this purpose, various approaches of machine learning will be introduced, which aim at enabling reliable biometric recognition (e.g. by means of face recognition). At the same time, biometric applications place very specific requirements on the underlying algorithms. The course will specifically address these requirements and how they can be met algorithmically and in the algorithmic learning process. This includes the topics of privacy, fairness, explainability, uncertainties, efficiency, attacks and their automated detection.
The course includes the following content:

- Biometric systems, operation modes, and evaluation
- Recap on traditional and deep learning
- Face, Iris, and fingerprint recognition
- Soft-biometrics and privacy
- Fairness and bias in biometric systems
- Explainability and confidence in biometric systems
- Biometric sample quality
- Efficient biometric systems
- Presentation attacks and detection
- Multi-biometric fusion
- Biometric indexing

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- eigenständig biometrische Systeme evaluieren,
- Modelle zur biometrischen Erkennung für verschiedene Modalitäten trainieren,
- Biometrische Angriffe automatisiert erkennen und Systeme robust gegen solche Angriffe machen,
- verschiedenste Herausforderungen biometrischer Systeme erklären und Lösungsstrategien nennen, um diesen zu begegnen,
- offene Forschungsfragen in der Biometrie nennen und erklären.

Students will be able to

- independently evaluate biometric systems,
- train biometric recognition models for different modalities,
- automatically detect biometric attacks and make systems robust against such attacks,
- explain various challenges of biometric systems and name solution strategies to counter them,
- name and explain open research questions in biometrics.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Philipp Terhörst
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:* **Methodische Umsetzung** Zunächst wird den Studierenden ein Überblick über Biometrie und deren Anwendungen und grundsätzliche Funktionsweisen gegeben. Danach werden benötigte Konzepte des maschinellen Lernens kompakt eingeführt und bei der Behandlung spezieller biometrischer Anforderungen im Kontext angewandt und ausgebaut. Parallel zur Vorlesung werden in den Übungen die theoretischen Konzepte praktisch anhand Gesichtsdaten geübt. Dies geschieht in Form von kurzen handschriftlichen und Implementierungsaufgaben. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Machine Learning for Biometrics:* **Implementation Method** First, students are given an overview of biometrics and its applications and basic functionalities. Then, required concepts of machine learning are introduced in a compact way. These will be applied and developed in context when dealing with specific biometric requirements. Parallel to the lecture, the theoretical concepts are practiced in the exercises using facial data. This is done in the form of short hand-written and implementation tasks. **Learning Material, Literature** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Further literature will be announced in the lecture.

Multi-Objective Optimisation

Multi-Objective Optimisation

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4095	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05821 Multi-Objective Optimisation	V3 Ü2	75	105	P	30/15

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05821 Multi-Objective Optimisation	L3 Ex2	75	105	C	30/15

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Multi-Objective Optimisation:
Empfohlene Vorkenntnisse
Solide Grundkenntnisse in Algorithmen und Datenstrukturen, Mathematik, und Grundkenntnisse im Bereich Optimierung sind hilfreich.

Prerequisites of course Multi-Objective Optimisation:
Recommended Proficiencies
Solid basic knowledge of algorithms and data structures, mathematics, as well as basic knowledge of optimization are beneficial.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Multi-Objective Optimisation:* Optimierungsprobleme sind allgegenwärtig und wir alle lösen sie (näherungsweise) im Alltag etwa bei der Routenfindung mit Google Maps um schnell von A nach B zu kommen oder der Entscheidung für eine Kasse mit der kürzesten Warteschlange (kürzester erwarteter Wartezeit) im Supermarkt. Optimierungsprobleme sind jedoch selten einkriteriell. Vielmehr sind sie mehrkriterieller Natur und die einzelnen Ziele stehen üblicherweise miteinander in Konflikt. So kann bei der Routenplanung einerseits die zurückgelegte Strecke von Relevanz sein (je kürzer desto besser) und zum anderen der Treibstoffverbrauch (je geringer desto besser); der kürzeste Weg kann etwa durch die Innenstadt führen mit vielen Stop-and-Go Manövern durch rote Ampeln vor allem zu Stoßzeiten. Ein Weg um die Innenstadt herum hingegen kann trotz längerer Strecke weniger Treibstoff verbrauchen. Entsprechend ist das Ziel in der Mehrziel-Optimierung das Auffinden einer Menge von optimalen Kompromisslösungen. Dieser Kurs gibt eine umfassende Einführung in mehrkriterielle Optimierung (multi-objective optimisation) und die damit einhergehenden Herausforderungen. Neben klassischen allgemeinen Ansätzen werden exakte Verfahren für ausgewählte kombinatorische Optimierungsprobleme sowie heuristische (natur-inspirierte) Verfahren vorgestellt. Weiterhin behandelt der Kurs heuristische Lösungsansätze für Probleme mit mehr als drei Kriterien (many-objective optimisation). *Contents of the course Multi-Objective Optimisation:* Optimization problems are ubiquitous, and we all (approximately) solve them in everyday life, such as when finding routes with Google Maps to quickly get from point A to point B or deciding on a checkout lane with the shortest waiting queue (shortest expected waiting time) at the supermarket. However, optimization problems are rarely single-criteria. Instead, they are typically multi-criteria in nature, with the individual objectives usually conflicting with each other. For example, in route planning, the distance traveled may be relevant (shorter is better), and fuel consumption may also be a consideration (lower is better). The shortest route may lead through the city center with many stop-and-go maneuvers at red lights, especially during peak hours. On the other hand, a longer route around the city may consume less fuel. Accordingly, the goal in multi-objective optimization is to find a set of optimal compromise solutions. This course provides a comprehensive introduction to multi-objective optimization and the associated challenges. In addition to classical general approaches, exact methods for selected combinatorial optimization problems are presented, along with heuristic (nature-inspired) methods. The course also covers heuristic solution approaches for problems with more than three criteria (many-objective optimization).
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • wichtige exakte Algorithmen für mehrkriterielle minimale Spannbaum Problem und das mehrkriterielle kürzeste Wege Problem erklären, implementieren und anwenden • die Grenzen exakter Algorithmen für mehrkriterielle Probleme verstehen • biologisch inspirierte Heuristiken für Mehrzielprobleme erklären und anwenden • die Qualität der berechneneten Ergebnisse mehrkriterieller Algorithmen beurteilen, evaluieren und visualisieren • Herausforderungen von Problemen mit mehr als drei Kriterien verstehen und Lösungsansätze erklären

Students will be able to

- Explain, implement, and apply important exact algorithms for multi-criteria minimum spanning tree problems and multi-criteria shortest path problems
- Understand the limitations of exact algorithms for multi-criteria problems
- Explain and apply biologically inspired heuristics for multi-objective problems
- Assess, evaluate, and visualize the quality of computed results from multi-criteria algorithms
- Understand the challenges of problems with more than three criteria and explain solution approaches

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

	The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Multi-Objective Optimisation:* **Methodische Umsetzung** Folien-gestützte Vorlesung mit eingestreuten Übungsaufgaben. In der Übung erfolgt der Wissenstransfer und die Anwendung des Erlernten sowohl in theoretischen als auch praktischen Übungsaufgaben. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Deb, Kalyanmoy. „Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms“. • Ehrgott, Matthias. Multicriteria Optimization. Bd. 491. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000. • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Multi-Objective Optimisation:* **Implementation Method** Slide-based lecture with interspersed assignments. In the tutorial, the knowledge transfer and application of what has been learned takes place in both theoretical and practical assignments. **Learning Material, Literature** • Deb, Kalyanmoy. „Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms“. • Ehrgott, Matthias. Multicriteria Optimization. Bd. 491. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000. • Additional literature will be announced in the course.

Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R			
Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R			
Modulnummer / Module number: M.079.4093	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05829 Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R	V3 Ü2	75	105	P	70

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05829 Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R	L3 Ex2	75	105	C	70

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R:
Empfohlene Vorkenntnisse

- Grundlegende Kenntnisse und Interesse an Mathematik, Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung
- Basiswissen Programmierung

	none *Prerequisites of course Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R:* **Recommended Proficiencies** • Basic knowledge and interest in mathematics, statistics and probability theory • Basic knowledge of programming
4	**Inhalte** / **Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R:* Die Veranstaltung vermittelt die formalen und praktischen Grundlagen des unüberwachten maschinellen Lernens sowie deren Umsetzung in der statistischen Programmiersprache R. Insbesondere werden die Methodik und Anwendung der folgenden Themen behandelt: • Einführung in die statistische Programmiersprache R • Datenvorverarbeitung und Qualitätsprüfung von Daten • (Stream-)Clustering-Verfahren • Techniken der Dimensionsreduktion • Grundprinzipien der evolutionären Optimierung, sowohl ein- als auch mehrkriteriell • Praktische Anwendung der Methoden unter Verwendung von R in Einzel- und Gruppenarbeit *Contents of the course Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R:* The course includes the formal and applied concepts of unsupervised machine learning and its implementation in the statistical programming language R. In particular, the following topics are covered in a theoretical and applied manner: • Introduction to the statistical programming language R • Data pre-processing and quality aspects of data • (Stream) clustering techniques • Dimensionality reduction techniques • Basic principles of evolutionary optimisation, both single- and multi-objective • Practical application of the methods using R in individual and group work
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden . . . • die Qualität von Daten erkennen sowie geeignete Techniken zur Datenvorverarbeitung auswählen • wichtige Methoden des unüberwachten Lernens erklären und anwenden • die Grundprinzipien evolutionärer Optimierungsverfahren verstehen • Techniken zur Beurteilung der Qualität von Optimierungsverfahren kompetent anwenden • die Statistik-Software R zur statistischen Datenanalyse, unüberwachtem Lernen und der evolutionären Optimierung anwenden • Problemstellungen im Team analysieren und praxisrelevante Lösungen präsentieren

After completing the module, students will be able to ...

- properly assess data quality and select suitable techniques for data pre-processing
- explain and apply core methods of unsupervised learning
- understand the basic principles of evolutionary optimisation methods
- competently apply techniques to assess the quality of optimisation procedures
- use the statistical software R for statistical data analysis, unsupervised learning and evolutionary optimisation in a competent manner
- analyse problems in a team and present practice-relevant solutions

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

	The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Heike Trautmann
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R:* **Methodische Umsetzung** Eine Einführung in die statistische Programmiersprache R wird kompakt in den ersten Wochen der Veranstaltung durchgeführt. Methoden des unüberwachten maschinellen Lernens werden durch inhaltliche Präsentation und interaktive Übung im Rahmen der Vorlesung vermittelt sowie in Tutorien vertieft, sowohl methodisch formal als auch anwenungsorientiert unter Verwendung von R. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Für die statistische Programmiersprache R wird empfohlen: • Hadley Wickham & Garrett Grolemund (2023). R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data. 2nd ed. O'Reilly • Torsten Hothorn and Brian S. Everitt (2014). A Handbook of Statistical Analyses Using R. Chapman & Hall/CRC Press, 3rd edition, 2014. • C. Heumann, M. Schomaker, and Shalabh. Introduction to Statistics and Data Analysis With Exercises, Solutions and Applications in R. Springer, 2017. Die methodischen Kapitel basieren auf der Kombination einer Vielzahl von Literaturquellen, diese werden in der Vorlesung bekannt gegeben. *Remarks of course Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R:* **Implementation Method** An introduction to the statistical programming language R is given compactly in the first weeks of the course. Methods of unsupervised machine learning are covered within lecture presentations interleaved with interactive exercises. Methods understanding will be further deepened in tutorials focusing both on theory as well as application-oriented tasks using R. **Learning Material, Literature** Recommended for the statistical programming language R: • Hadley Wickham & Garrett Grolemund (2023). R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data. 2nd ed. O'Reilly • Torsten Hothorn and Brian S. Everitt (2014). A Handbook of Statistical Analyses Using R. Chapman & Hall/CRC Press, 3rd edition, 2014. • C. Heumann, M. Schomaker, and Shalabh. Introduction to Statistics and Data Analysis With Exercises, Solutions and Applications in R. Springer, 2017. The methods sections are based on a variety of references which will be announced in the lecture.

3.10 Informatik-Focus Area Security

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Advanced Distributed Algorithms and Data Structures

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4006	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05700 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Empfohlene Vorkenntnisse
Algorithmen und Datenstrukturen, verteilte Algorithmen und Datenstrukturen

none

Prerequisites of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:
Recommended Proficiencies
Algorithms and data structures, distributed algorithms and data structures

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* Nach einer kurzen Einführung in die Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie sowie der verteilten Programmierung stellt die Vorlesung fortgeschrittene Methoden für verteilte Algorithmen und Datenstrukturen vor. Themen sind unter anderem Zugriffskontrolle, Synchronisation, Konsensus, Informationsverbreitung, hybride Netze, Scheduling und Optimierung. Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. Die Vorlesung gibt eine Einführung in aktuelle, fortgeschrittene verteilte Algorithmen und Datenstrukturen. Neben der Präsentation der dafür notwendigen Protokolle werden diese auch rigoros auf ihre Korrektheit und Effizient hin analysiert. Die Vorlesung gliedert sich in folgende Kapitel: • Einführung • Grundlagen der Graphen- und Netzwerktheorie • Zugriffskontrolle • Synchronisation • Konsensus • Informationsverbreitung • Hybride Netze • Scheduling • Optimierung Aufbauend auf Lösungen zu diesen Themen werden auch konkrete Anwendungen vorgestellt. *Contents of the course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* After a short introduction of the foundations of graph and network theory as well as distributed programs, the lecture presents advanced methods in the area of distributed algorithms and data structures. Topics covered in the course are access control, synchronization, consensus, information dissemination, hybrid networks, scheduling, and optimization. In addition to presenting solutions to these topics, also concrete applications will be presented. The lecture gives an introduction to state-of-the-art advanced distributed algorithms and data structures. In addition to the presentation of the corresponding protocols, their correctness and efficienty will be shown in a rigorous way. The lecture is structured as follows: • Introduction • Fooundations of graph and network theory • Access control • Synchronization • Consensus • Information dissemination • Hybrid networks • Scheduling • Optimization In addition to presenting solution to these topics, also concrete applications will be presented.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • grundlegende analytische Techniken verstehen und anwenden, • grundlegende algorithmische Ansätze erklären und anwenden, • beurteilen, welche Auswirkungen diese Ansätze haben und • die Grenzen der Anwendbarkeit dieser Ansätze einschätzen.

Students will be able to

- understand and apply basic analytical techniques,
- explain and use basic algorithmic approaches,
- judge which effects these approaches have, and
- know the limits of using these approaches.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Christian Scheideler
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung nutzt Tafelanschrieb und Folien sowie kleine Aufgaben für die Studierenden während der Vorlesung. Sie wird durch Tutorien begleitet. Studierende haben in den Tutorien Gelegenheit, Aufgaben in der Gruppe zu bearbeiten und Lösungen von Übungsblättern mit den Tutoren zu diskutieren. **Lernmaterialien, Literatur** • Foliensatz der Vorlesung; Übungsblätter • Weitere Literatur wird in der Vorlesung bekanntgegeben *Remarks of course Advanced Distributed Algorithms and Data Structures:* **Implementation Method** The lecture uses a blackboard and slides as well as small exercises for the students during the lecture. It will be supported by tutorial groups. Students have the opportunity in tutorial groups to work on problems in a group and to discuss solutions of the exercise sheets with the tutors. **Learning Material, Literature** • Slides of the lecture; exercise sheets • Additional literature will be announced in the course

Designing code analyses for large-scale software systems 1

Designing code analyses for large-scale software systems 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4070	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05781 Designing code analyses for large-scale software systems 1	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05781 Designing code analyses for large-scale software systems 1	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Ein gutes Verständnis von Java und den Prinzipien objektorientierter Programmierung ist hilfreich.

	none *Prerequisites of course Designing code analyses for large-scale software systems 1:* **Recommended Proficiencies** A mature understanding of the Java programming languages and object-oriented programming will be helpful.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 1:* Statische Codeanalysen dienen u.a. dazu, automatisiert Fehler und Schwachstellen im Programmcode aufzufinden. Zu diesem Zwecke suchen sie nach bekannten Fehlermustern. In dieser Vorlesung wird erklärt, wie man solche Codeanalysen entwirft, die inter-prozedural sind, also das komplette Programm betrachten, über die Grenzen einzelner Prozeduren hinweg. Der Entwurf solcher Analysen gestaltet sich deshalb sehr schwierig, weil die Analysen oft Millionen von Programmstatements gleichermaßen präzise aber auch effizient verarbeiten müssen. Es werden außerdem Beispielsanalysen aus dem Bereich der IT-Sicherheit besprochen. Diese Veranstaltung ist Teil einer Kombination DECA 1/2. In DECA 2 werden aktuelle Ansätze aus der Forschung besprochen. Es wird dringend empfohlen zuerst DECA 1 und dann DECA 2 zu belegen. **Behandelte Themen:** • Typsysteme und fluss-insensitive Analysen • Endliche Verbände und Fixpunkte • Intra-prozedurale fluss-sensitive Codeanalysen • Intervallanalyse, Widening und Narrowing • Erstellen von Call-graphen • Pointer-Analyse • Inter-prozedurale Codeanalysen • Context-sensitive Analyse mit dem Call-strings Approach • Context-sensitive Analyse mit dem Functional approach • Value-based Termination, VASCO • Distributive Analysen mit IFDS • Praktische Definitionen von Flussfunktionen • Distributive Analysen mit IDE Während der gesamten Veranstaltung werden Anwendungsbeispiele aus dem Gebiet der Softwaresicherheit diskutiert.

	Contents of the course Designing code analyses for large-scale software systems 1: Static code analysis is frequently used to find programming mistakes automatically, by searching for suspicious anti-patterns in a program's code. This course will explain how to design static code analysis that are inter-procedural, i.e., consider the whole program, across procedure boundaries. Designing such analyses is challenging, as they need to handle millions of program statements efficiently and precisely. Example applications are drawn from the area of IT security. This course is part of a combination DECA 1/2. In DECA 2 we will be covering current approaches directly our of research. We strongly recommend attending DECA 1 before DECA 2. **Topics covered include:** • Type systems and flow-insensitive, contraint-based analysis • Lattices and fixed points • Intra-procedural flow-sensitive static code analysis • Interval analysis, widening and narrowing • Call-graph construction • Pointer Analysis • Inter-procedural program analysis • Call-strings approach to context-sensitive analysis • Functional approach to context-sensitive analysis • Value-based termination, VASCO • Distributive analyses using IFDS • Sensible arrangements of Flow Functions • Distributive analyses using IDE Throughout, we will discuss applications to software security.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden • die wichtigsten Konzepte und Algorithmen im Bereich der statischen Programmanalyse benennen und unterscheiden • erklären, welche Auswirkungen verschiedene alternativer Entwurfsentscheidungen beim Entwurf einer statischen Programmanalyse nach sich ziehen • einfachere statische Programmanalysen selbst implementieren und anwenden sowie deren Funktion illustrieren • Datenstrukturen und Algorithmen zur statischen Programmanalyse gegenüberstellen und vergleichen • die Anwendbarkeit bestimmter Analyseverfahren auf bestimmte Anwendungskontexte bewerten und begründen sowie • durch Komposition mehrerer Analyseverfahren Werkzeuge zur statischen Programmanalyse selbst entwickeln.

Upon completion of the module, students will be able to

- name and distinguish the most important concepts and algorithms in the field of static program analysis
- explain the effects of various alternative design decisions when designing a static program analysis
- implement and apply simple static program analyses themselves and illustrate their function
- contrast and compare data structures and algorithms for static program analysis
- evaluate and justify the applicability of certain analysis procedures to specific application contexts, and
- develop tools for static program analysis by composing several analysis methods.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eric Bodden
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 1:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Gruppenübungen sowie praktische Programmierübungen mit weltweit genutzten Frameworks für die statische Codeanalyse **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Thomas Reps, Susan Horwitz, and Mooly Sagiv. 1995. Precise interprocedural dataflow analysis via graph reachability. POPL '95 • Shmuel Sagiv, Thomas W. Reps, and Susan Horwitz. 1995. Precise Interprocedural Dataflow Analysis with Applications to Constant Propagation. TAPSOFT '95 • Akash Lal, Thomas Reps, and Gogul Balakrishnan. 2005. Extended weighted pushdown systems. CAV 2005 • Nomair A. Naeem, Ondrej Lhoták, and Jonathan Rodriguez. 2010. Practical extensions to the IFDS algorithm. CC 2010 • Yannis Smaragdakis, Martin Bravenboer, and Ondrej Lhoták. 2011. Pick your contexts well: understanding object-sensitivity. POPL 2011 • Eric Bodden. 2012. Inter-procedural data-flow analysis with IFDS/IDE and Soot. SOAP 2012 • Rohan Padhye, Uday P. Khedker. Interprocedural Data Flow Analysis in Soot using Value Contexts. SOAP 2013

Remarks of course Designing code analyses for large-scale software systems 1:
Implementation method
Lectures and group exercises as well as practical programming labs using worldwide leading frameworks for static code analysis
Learning Material, Literature

- Thomas Reps, Susan Horwitz, and Mooly Sagiv. 1995. Precise interprocedural dataflow analysis via graph reachability. POPL '95
- Shmuel Sagiv, Thomas W. Reps, and Susan Horwitz. 1995. Precise Interprocedural Dataflow Analysis with Applications to Constant Propagation. TAPSOFT '95
- Akash Lal, Thomas Reps, and Gogul Balakrishnan. 2005. Extended weighted pushdown systems. CAV 2005
- Nomair A. Naeem, Ondrej Lhoták, and Jonathan Rodriguez. 2010. Practical extensions to the IFDS algorithm. CC 2010
- Yannis Smaragdakis, Martin Bravenboer, and Ondrej Lhoták. 2011. Pick your contexts well: understanding object-sensitivity. POPL 2011
- Eric Bodden. 2012. Inter-procedural data-flow analysis with IFDS/IDE and Soot. SOAP 2012
- Rohan Padhye, Uday P. Khedker. Interprocedural Data Flow Analysis in Soot using Value Contexts. SOAP 2013

Designing code analyses for large-scale software systems 2

Designing code analyses for large-scale software systems 2

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4071	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	2-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05800 Designing code analyses for large-scale software systems 2	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05800 Designing code analyses for large-scale software systems 2	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 2:
Empfohlene Vorkenntnisse
Der vorherige Besuch der Veranstaltung DECA 1 wird dringend empfohlen. Ein gutes Verständnis von Java und/oder C++ und den Prinzipien objektorientierter Programmierung ist hilfreich.

	none *Prerequisites of course Designing code analyses for large-scale software systems 2:* **Recommended Proficiencies** We strongly recommend that attendees have completed DECA 1 beforehand. A mature understanding of the Java and/or C++ programming languages and object-oriented programming will be helpful.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 2:* Statische Codeanalysen dienen dazu, automatisiert Fehler und Schwachstellen im Programmcode aufzufinden. Zu diesem Zwecke suchen sie nach bekannten Fehlermustern. In dieser Vorlesung wird erklärt, wie man solche Codeanalysen entwirft, die inter-prozedural sind, also das komplette Programm betrachten, über die Grenzen einzelner Prozeduren hinweg. Der Entwurf solcher Analysen gestaltet sich deshalb sehr schwierig, weil die Analysen oft Millionen von Programmstatements gleichermaßen präzise aber auch effizient verarbeiten müssen. Es werden außerdem Beispielsanalysen aus dem Bereich der IT-Sicherheit besprochen. Diese Lehrveranstaltung knüpft an an die Veranstaltung DECA 1. In DECA 2 werden vor allem neuartige Konzepte direkt aus der Forschung besprochen, beispielsweise sogenannte demand-driven analyses, welche sich durch eine präzisere und gleichzeitig effizientere Analyse auszeichnen, aber auch Pushdown-Systeme, die eine elegante Modellierung und ebenso schnelle Ausführung von Programmanalysen erlauben. Zu guter letzt erklären wir aktuelle Lösungsansätze zu praktischen Problemen in der statischen Analyse wie beispielsweise der Nutzung von Reflection und nativem Code. **Behandelte Themen:** • Programmanalyse von Software-Produktlinien • Modellierung von Call Stacks und Feldzugriffen mit Pushdown-Systemen • Modellierung von weiterer Analyseinformationen mit Weighted Pushdown Systems • Effizienz- und Präzisionsgewinne durch bedarfsgesteuerte Programmanalyse • Synchronisierte Pushdown-Systeme im Boomerang-Framework • Angewandte Android-Code-Analyse mit FlowDroid • Behandlung von Reflexion mittels TamiFlex • Hybride statische und dynamische Analyse mit Harvester • Lernen von Quell-, Senken- und Sanitizer-Definitionen mit SWAN und SWAN Assist • Erklärbare statische Analyse

	Contents of the course Designing code analyses for large-scale software systems 2: Static code analysis has the goal of finding programming mistakes automatically, by searching for suspicious anti-patterns in a program's code. This course will explain how to design static code analysis that are inter-procedural, i.e., consider the whole program, across procedure boundaries. Designing such analyses is challenging, as they need to handle millions of program statements efficiently and precisely. Example applications are drawn from the area of IT security. This course builds on the DECA 1 course. In DECA 2, we discuss novel concepts directly from research, for example so-called demand-driven analyses, which are characterized by a more precise and at the same time more efficient analysis, but also pushdown systems, which provide a allow elegant modeling and at the same time fast execution of program analyses. Last but not least, we explain current solutions to practical problems in static analysis, such as the use of reflection and native code. **Topics covered include:** • Program analysis of software product lines • Modeling call stacks and field accesses with Pushdown Systems • Modeling auxiliary analysis information with Weighted Pushdown Systems • Efficiency and precision gains through Demand-driven Program Analysis • Synchronized Pushdown Systems in the Boomerang framework • Applied Android code analysis with FlowDroid • Dealing with Reflection through TamiFlex • Hybrid static and dynamic analysis with Harvester • Learning source, sink and sanitizer definitions with SWAN and SWAN Assist • Explainable static analysis
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden • die wichtigsten Herausforderungen bei der inter-prozeduralen statischen Programmanalyse benennen und erklären • aktuelle Verfahren im Bereich der inter-prozeduralen statischen Programmanalyse benennen und unterscheiden • erklären, welche Auswirkungen verschiedene alternativer Entwurfsentscheidungen beim Entwurf einer inter-prozeduralen statischen Programmanalyse nach sich ziehen • Datenstrukturen und Algorithmen zur inter-prozeduralen statischen Programmanalyse gegenüberstellen und vergleichen • die Anwendbarkeit aktueller Analyseverfahren in einer breiten Auswahlen von Anwendungskontexten bewerten und begründen. Upon completion of the module, students will be able to • name and explain the most important challenges in inter-procedural static program analysis • name and distinguish current methods in the field of inter-procedural static program analysis • explain the implications of various alternative design decisions in the design of an inter-procedural static program analysis. • contrast and compare data structures and algorithms for inter-procedural static program analysis and • evaluate and justify the applicability of current analysis techniques in a broad range of application contexts.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eric Bodden
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 2:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Gruppenübungen sowie Programmierübungen mittels realer, weltweit genutzter Frameworks für die statische Analyse (bspw. Soot, Phasar, FlowDroid) **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Context-, Flow-, and Field-sensitive Data-flow Analysis Using Synchronized Pushdown Systems (Johannes Späth, Karim Ali, Eric Bodden), In Proceedings of the ACM SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages, pages 48:1–48:29, 3(POPL), 2019. • FlowDroid: Precise Context, Flow, Field, Object-sensitive and Lifecycle-aware Taint Analysis for Android Apps (Steven Arzt, Siegfried Rasthofer, Christian Fritz, Eric Bodden, Alexandre Bartel, Jacques Klein, Yves Le Traon, Damien Octeau, Patrick McDaniel), In Proceedings of the 35th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation, pages 259–269, PLDI '14, ACM, 2014. • Codebase-Adaptive Detection of Security-Relevant Methods (Goran Piskachev, Lisa Nguyen Quang Do, Eric Bodden), In ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA), 2019. • Taming Reflection: Aiding Static Analysis in the Presence of Reflection and Custom Class Loaders (Eric Bodden, Andreas Sewe, Jan Sinschek, Hela Oueslati, Mira Mezini), In ICSE '11: International Conference on Software Engineering, pages 241–250, ACM, 2011. *Remarks of course Designing code analyses for large-scale software systems 2:* **Implementation method** Lectures and group exercises as well as programming exercises using widely used real-world static analysis frameworks (e.g. Soot, Phasar, FlowDroid) **Learning Material, Literature** • Context-, Flow-, and Field-sensitive Data-flow Analysis Using Synchronized Pushdown Systems (Johannes Späth, Karim Ali, Eric Bodden), In Proceedings of the ACM SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages, pages 48:1–48:29, 3(POPL), 2019. • FlowDroid: Precise Context, Flow, Field, Object-sensitive and Lifecycle-aware Taint Analysis for Android Apps (Steven Arzt, Siegfried Rasthofer, Christian Fritz, Eric Bodden, Alexandre Bartel, Jacques Klein, Yves Le Traon, Damien Octeau, Patrick McDaniel), In Proceedings of the 35th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation, pages 259–269, PLDI '14, ACM, 2014. • Codebase-Adaptive Detection of Security-Relevant Methods (Goran Piskachev, Lisa Nguyen Quang Do, Eric Bodden), In ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA), 2019. • Taming Reflection: Aiding Static Analysis in the Presence of Reflection and Custom Class Loaders (Eric Bodden, Andreas Sewe, Jan Sinschek, Hela Oueslati, Mira Mezini), In ICSE '11: International Conference on Software Engineering, pages 241–250, ACM, 2011.

Foundations of Cryptography

Foundations of Cryptography

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4020	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05801 Foundations of Cryptography	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05801 Foundations of Cryptography	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:
Empfohlene Vorkenntnisse
Basiskenntnisse in IT-Sicherheit und Kryptographie nützlich aber nicht notwendig, Grundkonzepte der Komplexitätstheorie und Wahrscheinlichkeitstheorie

none

Prerequisites of course Foundations of Cryptography:
Recommended Proficiencies
Basic Knowledge in IT-Security and cryptography useful but not necessary, basic concepts of complexity theory and probability theory

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:* Kryptographie ist eine wichtige Basistechnik der IT-Sicherheit. So beruhen Internet-Protokolle wie TLS auf kryptgraphischen Primitiven wie Schlüsselaustausch, Verschlüsselung und Signaturen. In dieser Vorlesung werde wichtige Basiskonzepte moderner Kryptographie vorgestellt. Hierzu gehören Verschlüsselungsverfahren, digitale Signaturen, Identifikationsprotokolle und Mehrparteienberechnungen. In allen Fällen werden formale Sicherheitsdefinitionen vorgestellt und, ausgehend von mathematisch präzisen Annahmen, beweisbar sichere Konstruktionen entwickelt. Eine wesentlicher Aspekt der Vorlesung ist die Konstruktiver effizienter und sicherer kryptographischer Verfahren aus möglichst allgemeinen Annahmen. Zu den Inhalten gehören: • Symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung • Pseudozufallsfunktionen, Einweg-Funktionen, Permutationen mit Falltüren • Hashfunctions und Authentifizierungscodes • Digitale Unterschriften, Einmal-Unterschriften und Zufallsorakel • Identifikationsprotokolle, Σ-Protokolle • Sicherheitskonzepte wie unfälschbare Signaturen und CPA- sowie CCA-sichere Verschlüsselungsverfahren *Contents of the course Foundations of Cryptography:* Cryptography is an important basic technique in IT security. Internet protocols such as TLS are based on cryptographic primitives such as key exchange, encryption and signatures. In this lecture, important basic concepts of modern cryptography will be introduced. These include encryption schemes, digital signatures, identification protocols, and multiparty computations. In all cases, formal security definitions are presented and, starting from mathematically precise assumptions, provably secure constructions are developed. An essential aspect of the lecture is the construction of efficient and secure cryptographic methods from assumptions that are as general as possible. Contents include: • Symmetric and asymmetric encryption. • Pseudorandom functions, one-way functions, permutations with trapdoors • Hash functions and authentication codes • Digital signatures, one-time signatures and random oracles. • Identification protocols, Σ protocols. • Security concepts such as unforgeable signatures and CPA- and CCA-secure encryption schemes.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- Konzepte und Methoden moderner Kryptographie zu verstehen, zu erklären und anzuwenden.
- gemäß den Sicherheitsanforderungen einer Anwendung geeignete kryptographischen Verfahren auszuwählen, z.B. unterscheiden, wo Verschlüsselungsverfahren und wo Authentisierungsverfahren angemessen sind.
- Primitiven der Kryptographie gemäß den Anforderungen von Anwendungen kombinieren und die Sicherheit der Kombination zu beweisen.
- neue Sicherheitskonzepte zu definieren und kryptographische Methoden zu entwerfen, die diesen Konzepte erfüllen.
- Sicherheitsbeweise verstehen und eigenständig ausarbeiten.
- sich neueste Forschungsergebnisse im Bereich der Kryptographie anhand von wissenschaftlichen Papers zu erarbeiten.

Upon completion of the module, students will be able to:

- understand, explain and apply concepts and methods of modern cryptography.
- select appropriate cryptographic methods according to the security requirements of an application, e.g. distinguish where encryption methods and where authentication methods are appropriate.
- combine primitives of cryptography according to application requirements and prove the security of the combination.
- define new security concepts and design cryptographic methods that satisfy those concepts.
- understand and independently develop security proofs.
- acquire latest research results in the field of cryptography by reading scientific papers.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Johannes Blömer

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Foundations of Cryptography:
Methodische Umsetzung
Grundlegende Konzepte werden in einer Vorlesung präsentiert. Zusätzlich werden theoretische Konzepte in Tutorien in Kleingruppen vertieft. In schriftlichen Übungen und in Lesegruppen wird der praktischer Einsatz dieser Konzepte eingeübt.
Lernmaterialien, Literaturangaben

- Oded Gorldreich, Foundations of Cryptography I,II,
- Jonathan Katz, Yehuda Lindell, Introduction to Modern Cryptography
- Folien der Vorlesung
- Skript

Remarks of course Foundations of Cryptography:
Implementation method
Basic concepts are presented in a lecture. In addition, theoretical concepts are deepened in tutorials in small groups. Written exercises and reading groups will be used to practice the practical application of these concepts.
Learning Material, Literature

- Oded Gorldreich, Foundations of Cryptography I,II,
- Jonathan Katz, Yehuda Lindell, Introduction to Modern Cryptogtraphy
- Slides from the lectures
- Lecture notes

Hardware Security			
Hardware Security			
Modulnummer / Module number: M.079.4211	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	K.079.42111 Hardware Security	V3 Ü2	75	105	P	30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	K.079.42111 Hardware Security	L3 Ex2	75	105	C	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Hardware Security:
Basiskenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Kryptographie

none

Prerequisites of course Hardware Security:
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Hardware Security:* Die gesamte Software, die wir nutzen und auf die wir uns verlassen, wird letztendlich auf tatsächlicher Hardware ausgeführt. Die Interaktionen zwischen der Software und der Hardware, auf der sie ausgeführt wird, werden immer komplexer. Daher kann sich sichere Software als unsicher erweisen, wenn sie auf bestimmter Hardware ausgeführt wird. Angreifer können Implementierungsfehler, Logikfehler oder Seitenkanäle wie Timing oder Cache-Zugriffe ausnutzen, um Anwendungen zu knacken oder Geheimnisse aus kryptographischen Implementierungen zu extrahieren. Diese Vorlesung behandelt verschiedene Themen zur Sicherung und Nutzung sicherer Hardware. Der Kurs umfasst die folgenden Inhalte: • Kurzer Hintergrund in Kryptographie • Sichere Programmierung und Implementierungsfehler • Eingebettete und sichere Hardware • Smartcards, U2F-Token • Timing- und mikroarchitektonische Angriffe • Passive und aktive Seitenkanalangriffe • Abwehrmaßnahmen gegen Seitenkanalangriffe • Trusted Platform Modules, Secure Boot • Trusted Execution Environments • Hardware Security Module *Contents of the course Hardware Security:* All of the software we use and rely on ends up being executed on actual hardware. The interactions between software and hardware it runs on are becoming more and more complex. Thus, secure software may turn out to be insecure when ran on particular hardware. Attackers can utilize implementation bugs, logic bugs, or side-channels like timing or cache access to break applications or extract secrets out of cryptographic implementations. This lecture will cover various topics of securing and using secure hardware. The course includes the following contents: • Brief background in cryptography • Secure programming and implementation bugs • Embedded and secure hardware • Smartcards, U2F tokens • Timing and micro-architectural attacks • Passive and active side-channel attacks • Side-channel attack defences • Trusted Platform Modules, Secure boot • Trusted Execution Environments • Hardware Security Modules
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können: • Häufige Software- und Hardware-Schwachstellen identifizieren, die sichere Systeme gefährden, einschließlich Speicherfehlern und API-Missbrauch. • Die Grundideen hinter Seitenkanal- und Timing-Angriffen erklären. • Allgemeine Ansätze zum Schutz von Implementierungen vor diesen Angriffen identifizieren. • Die Architektur, Bedrohungsmodelle und Sicherheitseigenschaften von vertrauenswürdigen Hardwarekomponenten wie TPMs, TEEs und Smartcards beschreiben.

Students will be able to

- Identify common software and hardware vulnerabilities that undermine secure systems, including memory bugs and API misuse.
- Explain the basic ideas behind side-channel and timing attacks.
- Identify general approaches to protecting implementations against these attacks.
- Describe the architecture, threat models, and security properties of trusted hardware components like TPMs, TEEs, and smartcards.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

	The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Jan Jancar
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Hardware Security:* **Methodische Umsetzung** Die Themen werden durch Vorlesungspräsentationen vermittelt, wobei die Beteiligung der Studierenden und Fragen erwartet werden. Tutorien ergänzen dies um praktische Aufgaben zum Material. Schließlich erfordern Hausaufgaben Einzelarbeit und das Selbststudium von zusätzlichem Material. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungs- und Tutoriumsfolien • The Hardware Hacking Handbook (ISBN: 9781593278748) und die dazugehörigen Notebooks auf hardwarehacking.io • Power Analysis Attacks: Revealing the Secrets of Smart Cards (ISBN 9780387308579) • Embedded Cryptography 1 (ISBN: 9781394351879) • Embedded Cryptography 2 (ISBN: 9781394351909) • Embedded Cryptography 3 (ISBN: 9781394351930) *Remarks of course Hardware Security:* **Implementation Method** The topics are conveyed through lecture presentations with student participation and questions expected. Tutorials add hands-on tasks involving the material. Finally, homework assignments require individual work and self-study of additional material. **Learning Material, Literature** • Lecture and tutorial slides • The Hardware Hacking Handbook (ISBN: 9781593278748) and its associated notebooks at hardwarehacking.io • Power Analysis Attacks: Revealing the Secrets of Smart Cards (ISBN 9780387308579) • Embedded Cryptography 1 (ISBN: 9781394351879) • Embedded Cryptography 2 (ISBN: 9781394351909) • Embedded Cryptography 3 (ISBN: 9781394351930)

Human Factors in Security and Privacy			
Human Factors in Security and Privacy			
Modulnummer / Module number: M.079.4092	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05733 Human Factors in Security and Privacy	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05733 Human Factors in Security and Privacy	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Human Factors in Security and Privacy:* Menschen sind wichtige Akteure im Bereich Sicherheit. Ein nachweislich sicheres System ist nur dann nützlich, wenn es auch tatsächlich von den Benutzern verwendet werden kann, und Systementwickler müssen menschliches Verhalten berücksichtigen, wenn sie sowohl Sicherheit als auch Benutzerfreundlichkeit gewährleisten wollen. In diesem Kurs untersuchen wir Faktoren der Benutzerfreundlichkeit von Sicherheit und Datenschutz anhand einer forschungsbasierten, projektorientierten Untersuchung. Wir behandeln Kernbereiche der Sicherheit und Privatsphäre sowie Methoden der Mensch-Computer-Interaktion (HCI), mit denen die Benutzerfreundlichkeit von Sicherheit und Privatsphäre gemessen werden kann. Von den Studierenden wird erwartet, dass sie Aufgaben zu diesem Thema bearbeiten und ein forschungsbasiertes Projekt abschließen. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Wie schreibt man eine wissenschaftliche Forschungsarbeit? • Wie führt man eine unabhängige wissenschaftliche Studie im Bereich Human Factors in Sicherheit und Datenschutz durch? • Methodik: qualitative, quantitative und „gemischte" Methoden. • Einführung in die Forschung und wissenschaftliche Ethik • Einführung in die Literaturrecherche • Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse auf einer Konferenz *Contents of the course Human Factors in Security and Privacy:* Humans are important actors in security. A provable secure system is only useful if it can be actually used by users, and system designers need to account for human behavior if they wish to have both security and usability. In this class, we will examine factors of usability of security and privacy through a research-based, project-driven examination. We will cover core areas of security and privacy, as well as cover methods in human interaction (HCI) that can be used to measure the usability of security and privacy. Students are expected to complete problem sets on the topic and complete a research-based project. The course includes the following contents: • How to write a scientific research paper? • How to conduct an independent scientific study in the field of Human Factors in Security and Privacy? • Methodology: qualitative, quantitative and "mixed" methods. • Introduction to research and scientific ethics • Introduction to literature research • Presenting scientific results at a conference

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind in der Lage

- Forschungsmethoden im Bereich der menschlichen Faktoren in Bezug auf nutzbare Sicherheit und Privatsphäre zu verstehen und anzuwenden.
- relevante Hypothesen und Forschungsfragen im Bereich der nutzbaren Sicherheit und Privatsphäre zu entwickeln.
- eine Forschungsstudie zu entwerfen, durchzuführen und die Ergebnisse zu analysieren.
- Ergebnisse unter Verwendung der besten Praktiken des wissenschaftlichen Schreibens zu beschreiben, zu untermauern und effektiv zu argumentieren.
- ethische Fragen im Zusammenhang mit der Forschung zu menschlichen Faktoren im Bereich Sicherheit und Datenschutz zu verstehen.
- die wichtigsten Themen und Schwerpunkte der nutzbaren Sicherheit und des Datenschutzes zu verstehen.
- Forschungsergebnisse in der Veranstaltung zu präsentieren.

Students will be able to

- understand and apply research methods in human factors in usable security and privacy.
- develop relevant hypotheses and research questions in the space of usable security and privacy.
- design and deploy a research study and analyze the results.
- describe, support, and effectively argue a result using the best practices of scientific writing.
- understand ethical issues related to human factors research in security and privacy.
- understand the major topics and themes of usable security and privacy.
- present research results in class.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

<table>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
<table>
<tr><th>zu</th><th>Form</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>SL / QT</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte</td><td></td><td>SL</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of achievement</th><th>Duration or Scope</th><th>SL / QT</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Assignments, course paper or progress reports</td><td></td><td>CA</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Bestehen der Studienleistung
Passing of course achievement</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr. Yasemin Acar</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Human Factors in Security and Privacy:* **Methodische Umsetzung** Die Inhalte werden in der Vorlesung vorgestellt und erläutert. Im begleitenden Tutorium werden die Vorlesungsthemen sowohl im Plenum als auch in Kleingruppen vertieft und diskutiert. Darüber hinaus präsentieren und diskutieren die Studierenden ihre Fortschritte bei den Projekten. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Aktuelle zugriffsfreie Forschungspapiere werden in der Veranstaltung bereitgestellt. • Redmiles, Elissa M., Yasemin Acar, Sascha Fahl, and Michelle L. Mazurek. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers. 2017. https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/19227/CS-TR-5055.pdf • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Human Factors in Security and Privacy:* **Implementation Method** The contents are presented and elaborated in the lecture. In the accompanying tutorial, the lecture topics are deepened and discussed both in plenary and in small groups. In addition, students are presenting and discussing their progress on the projects. **Learning Material, Literature** • Current freely available research papers will be provided in the course. • Redmiles, Elissa M., Yasemin Acar, Sascha Fahl, and Michelle L. Mazurek. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers. 2017. https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/19227/CS-TR-5055.pdf • Additional literature will be announced in the course.

Introduction to Quantum Computation			
Introduction to Quantum Computation			
Modulnummer / Module number: M.079.4059	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05706 Introduction to Quantum Computation	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05706 Introduction to Quantum Computation	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra, Algorithmen

none

Prerequisites of course Introduction to Quantum Computation:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra, algorithms

4 **Inhalte / Contents:**

Inhalte der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:
In dieser Vorlesung werden die Grundlagen von Quanteninformatik und Quanteninformation vorgestellt. Das umfasst eine Einführung in Quantenmechanik, Quantenverschränkung, Quantenalgorithmen, Quantenfehlerkorrektur und Quanteninformation.

- Quantenmechanik
- Quantenverschränkung
- Quantenalgorithmen
- Quantenfehlerkorrektur
- Quanteninformation

Contents of the course Introduction to Quantum Computation:
This lecture introduces the fundamental concepts of quantum computation and information from a computer science perspective. This includes an introduction to quantum mechanics, quantum entanglement, quantum algorithms, quantum error correction, and quantum information theory.

- Quantum mechanics
- Quantum entanglement
- Quantum algorithms
- Quantum error correction
- Quantum information

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Studierende können:

- die Postulate von Quantenmechanik beschreiben und benutzen,
- die Benutzung von Quantenverschränkung als eine Quelle verstehen,
- grundlegenden Quantenalgorithmen entwickeln und analysieren
- Quantenfehlerkorrektur benutzen,
- grundlegender Quanteninformationskonzepten, wie Entropie, verstehen und benutzen.

Students are able to:

- Describe and apply the postulates of quantum mechanics
- Understand the use of entanglement as a resource
- Design and analyze fundamental quantum algorithms
- Apply the theory of error-correcting codes
- Understand and apply basic quantum information theory concepts such as entropy

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr. Sevag Gharibian

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Introduction to Quantum Computation:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Introduction to Quantum Computation:* **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • Lecture slides, exercises

Machine Learning for Biometrics			
Machine Learning for Biometrics			
Modulnummer / Module number: M.079.4088	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05709 Machine Learning for Biometrics	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:* Unter biometrischer Verifikation versteht man die automatische Erkennung von Personen auf der Grundlage ihrer Verhaltensweisen oder biologischen Merkmalen. Die Veranstaltung wird einen Überblick über moderne biometrische Systeme geben und speziell auf deren Funktionsweise und Herausforderungen eingehen. Dafür werden verschiedenste Ansätze maschinellen Lernens eingeführt, die darauf abzielen eine zuverlässige biometrische Erkennung (z.B. mittels Gesichtserkennung) zu ermöglichen. Zugleich stellen biometrische Anwendungen ganz eigene Anforderungen an die zugrundeliegenden Algorithmen. Die Veranstaltung wird speziell auf diese Anforderungen eingehen und wie man diese algorithmisch und im Lernprozess begegnen kann. Dies beinhaltet die Themen Privatsphäre, Fairness, Erklärbarkeit, Unsicherheiten, Effizienz, Angriffe und deren automatisierte Erkennung. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Biometrische Systeme, Funktionsweisen und Evaluierung • Zusammenfassung über traditionelles und tiefes Lernen • Gesichts-, Iris- und Fingerabdruckerkennung • Soft-Biometrie und Privatsphäre • Fairness und Bias in biometrischen Systemen • Erklärbarkeit und Zuverlässigkeit biometrischer Systeme • Qualität biometrischer Daten • Effiziente biometrische Systeme • Präsentationsangriffe und Erkennung • Multibiometrische Fusion • Biometrische Indizierung *Contents of the course Machine Learning for Biometrics:* Biometric verification is defined as the automated recognition of individuals based on their behavioral or biological characteristics. The course will give an overview of modern biometric systems and specifically address their functionality and challenges. For this purpose, various approaches of machine learning will be introduced, which aim at enabling reliable biometric recognition (e.g. by means of face recognition). At the same time, biometric applications place very specific requirements on the underlying algorithms. The course will specifically address these requirements and how they can be met algorithmically and in the algorithmic learning process. This includes the topics of privacy, fairness, explainability, uncertainties, efficiency, attacks and their automated detection. The course includes the following content: • Biometric systems, operation modes, and evaluation • Recap on traditional and deep learning • Face, Iris, and fingerprint recognition • Soft-biometrics and privacy • Fairness and bias in biometric systems • Explainability and confidence in biometric systems • Biometric sample quality • Efficient biometric systems • Presentation attacks and detection • Multi-biometric fusion • Biometric indexing

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- eigenständig biometrische Systeme evaluieren,
- Modelle zur biometrischen Erkennung für verschiedene Modalitäten trainieren,
- Biometrische Angriffe automatisiert erkennen und Systeme robust gegen solche Angriffe machen,
- verschiedenste Herausforderungen biometrischer Systeme erklären und Lösungsstrategien nennen, um diesen zu begegnen,
- offene Forschungsfragen in der Biometrie nennen und erklären.

Students will be able to

- independently evaluate biometric systems,
- train biometric recognition models for different modalities,
- automatically detect biometric attacks and make systems robust against such attacks,
- explain various challenges of biometric systems and name solution strategies to counter them,
- name and explain open research questions in biometrics.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), Masterstudiengang Computer Engineering v3 (CEMA v3), englisch, Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr.-Ing. Philipp Terhörst
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Machine Learning for Biometrics:* **Methodische Umsetzung** Zunächst wird den Studierenden ein Überblick über Biometrie und deren Anwendungen und grundsätzliche Funktionsweisen gegeben. Danach werden benötigte Konzepte des maschinellen Lernens kompakt eingeführt und bei der Behandlung spezieller biometrischer Anforderungen im Kontext angewandt und ausgebaut. Parallel zur Vorlesung werden in den Übungen die theoretischen Konzepte praktisch anhand Gesichtsdaten geübt. Dies geschieht in Form von kurzen handschriftlichen und Implementierungsaufgaben. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Machine Learning for Biometrics:* **Implementation Method** First, students are given an overview of biometrics and its applications and basic functionalities. Then, required concepts of machine learning are introduced in a compact way. These will be applied and developed in context when dealing with specific biometric requirements. Parallel to the lecture, the theoretical concepts are practiced in the exercises using facial data. This is done in the form of short hand-written and implementation tasks. **Learning Material, Literature** • Anil K. Jain, Patrick Flynn, and Arun A. Ross. 2010. Handbook of Biometrics (1st. ed.). Springer Publishing Company, Incorporated. • Further literature will be announced in the lecture.

Post-Quantum Cryptography			
Post-Quantum Cryptography			
Modulnummer / Module number: M.079.4089	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05732 Post-Quantum Cryptography	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05732 Post-Quantum Cryptography	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Post-Quantum Cryptography:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundkenntnisse in Kryptographie und Komplexitätstheorie

none

Prerequisites of course Post-Quantum Cryptography:
Recommended Proficiencies
Basics of cryptography and complexity theory

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Post-Quantum Cryptography:* IT-Sicherheit beruht zu großen Teilen auf Verfahren der modernen Kryptographie. Hierzu gehören viele Verfahren der so genannten Public-Key Kryptographie wie das RSA- und das Elgamal-Verschlüsselungsverfahren, das RSA-Unterschriftenverfahren sowie die verschiedenen Varianten des Digital Signature Algorithms (DSA). Im Jahr 1994 stellte Peter Shor einen effizienten Algorithmus zur Berechnung der Primfaktorisierung ganzer Zahlen und zur Berechnung diskreter Logarithmus in endlichen Gruppen vor. Damit sind alle genannten Verfahren der Public-Key Kryptographie unsicher, wenn Quantencomputer hinreichender Größe und Komplexität realisiert werden können. Es ist daher wichtig, Alternativen zu klassischen Public-Key Verfahren zu entwickeln, die zumindest nach aktuellem Forschungsstand nicht von Quantencomputern gebrochen werden können. Wichtige Kandidaten (und teilweise kurz vor der Standardisierung stehende) für solche post-quanten sichere Verfahren beruhen auf Techniken fehler-korrigierender Codes und der Geometrie der Zahlen. In dieser Vorlesung sollen wichtige Kandidaten für post-quanten sichere Verfahren vorgestellt und diskutiert werden. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Einführung in Codes, Gitter, diskretetisierte Gaußverteilungen • gitter- und codebasierte Verschlüsselung • gitterbasierte Signaturen • Gitter und Zero-Knowledge Beweise • gitterbasierte Gruppensignaturen *Contents of the course Post-Quantum Cryptography:* IT security is largely based on modern cryptographic methods. These include many methods of so-called public-key cryptography such as the RSA and Elgamal encryption methods, the RSA signature method, and the various variants of the Digital Signature Algorithm (DSA). In 1994, Peter Shor presented an efficient algorithm for computing prime factorization of integers and for computing discrete logarithms in finite groups. Thus, all the aforementioned methods of public-key cryptography are insecure if quantum computers of sufficient size and complexity can be realized. It is therefore important to develop alternatives to classical public-key methods that, at least according to current research, cannot be broken by quantum computers. Important candidates (and some close to standardization) for such post-quantum secure methods rely on techniques of error-correcting codes and the geometry of numbers. In this lecture, we will present and discuss important candidates for post-quantum secure methods. The course includes the following contents: • introduction to codes, lattices and discretised Gaussian distributions • lattice and code based enryption • lattice based signatures • lattices and zero-knowledge proofs • lattice based group signatures

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- den Unterschied zwischen klassischer und post-quanten Sicherheit verstehen und erklären.
- die Bedeutung von post-quanten Kryptographie für ausgewählte Anwendungen erklären.
- Konzepte aus dem Bereich der Geometrie der Zahlen und der fehler-korrigierende Codes erklären und anwenden.
- wichtige Konstruktionen aus dem Bereich der post-quanten Kryptographie erklären und deren Sicherheit beweisen.
- Sicherheitsannahmen aus der post-quanten Kryptographie erläutern und gegebenenfalls für neue post-quanten Primitiven einsetzen.

Students will be able to

- understand and explain the difference between classical and post-quantum security.
- explain the importance of post-quantum cryptography for selected applications.
- explain and apply concepts from the field of geometry of numbers and error-correcting codes.
- explain important constructions from post-quantum cryptography and prove their security.
- explain security assumptions from post-quantum cryptography and apply them to new post-quantum primitives.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

	zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
	a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Johannes Blömer
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Post-Quantum Cryptography:* **Methodische Umsetzung** Grundlegende Konzepte werden in einer Vorlesung präsentiert. Zusätzlich werden theoretische Konzepte in Tutorien in Kleingruppen sowie in schriftlichen Übungen vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Verweise auf aktuelles Lernmaterial werden in der Vorlesung gegeben. *Remarks of course Post-Quantum Cryptography:* **Implementation Method** Basic concepts are presented in a lecture. In addition, theoretical concepts are deepened in tutorials in small groups as well as in written exercises. **Learning Material, Literature** References to current learning materials will be given in the lectures.

Privacy and Technology			
Privacy and Technology			
Modulnummer / Module number: M.079.4087	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05705 Privacy and Technology	V2 Ü3	75	105	WP	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05705 Privacy and Technology	L2 Ex3	75	105	CE	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Privacy and Technology:* Dieser Kurs vermittelt den Studierenden ein grundlegendes Verständnis der Risiken und Grundsätze für Privatsphäre und Datenschutz, der gängigsten Technologien zur Bewältigung und wie menschliche Faktoren die Gestaltung beeinflussen. Der Kurs analysiert darüber hinaus Angreifermodelle und Bewertungsmetriken, die der Entwicklung von Technologien zur Verbesserung der Privatsphäre zugrunde liegen. Darüber hinaus wird ein kurzer Überblick über die nutzbare Sicherheit sowie das Identitätsmanagement und entsprechende Fallstudien gegeben. Hierfür ist ein oberflächliches Wissen über HCI-Grundlagen wünschenswert. Durch die Sichtung relevanter Paper und das Halten von Präsentationen werden die Studierenden mit dem neuesten Stand der Forschung auf diesem Gebiet vertraut gemacht und lernen, wie man wissenschaftlich arbeitet. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Metriken zum Schutz der Privatsphäre und Angreifermodelle • Anonyme Kommunikation • Technologien zur Verbesserung der Privatsphäre • Anonymisierungsalgorithmen für Datenbanken • Homomorphe Verschlüsselung und Null-Wissen-Beweise • Datenschutz beim Identitätsmanagement • Menschlicher Faktor beim Thema Privatsphäre & Datenschutz • Anwendung von Datenschutzprinzipien und Fallstudien *Contents of the course Privacy and Technology:* This course provides students with a basic understanding of privacy risks and principles, the most common technologies for addressing them and the human factors that shape their design. The course will analyze the adversary models and evaluation metrics underlying the design of privacy-enhancing technologies. Moreover a quick overview of usable security as well as identity management and dedicated case studies will be given. For that, a superficial knowledge of HCI basics is desirable. By reviewing relevant papers and giving presentations, the students will get familiar with the latest research in the field and gain knowledge about how to work scientifically. The course includes the following contents: • Privacy metrics and adversary models • Anonymous communications • Data-perturbative privacy-enhancing technologies • Anonymization algorithms for databases • Homomorphic encryption and zero knowledge proofs • Selective disclosure for identity management • Usable privacy • Applying privacy principles and case studies
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • sind in der Lage, über Datenschutz und Privatsphäre kritisch zu urteilen, • erwerben Kenntnisse über die Beurteilung von Datenschutzrisiken, • entwickeln ein Verständnis über Gestaltungsaspekte von Technologien, die zur Verbesserung der Privatsphäre führen, • lernen den aktuellen Forschungsstand zum Thema kennen und • analysieren und diskutieren Lösungen zu einem gegebenen Datenschutzproblem

The students

- are able to reason critically about privacy,
- gain knowledge in the evaluation of privacy risks,
- understand the design aspects of privacy-enhancing technologies,
- get familiar with the latest research in the field and
- analyze and discuss the space of solutions to a given privacy problem

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Patricia Arias Cabarcos
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Privacy and Technology:* **Methodische Umsetzung** Die Inhalte werden durch eine Präsentation in Form einer Vorlesung vermittelt. Dazu werden sie in Präsenzübungen in Kleingruppen, sowie durch individuelle Präsentationen vertieft und Methoden durch praktische Übungen umgesetzt und angewandt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien, wissenschaftliche Literatur und spezifische Lektüre werden während des Kurses zur Verfügung gestellt. *Remarks of course Privacy and Technology:* **Implementation Method** The contents are taught through a presentation in the form of a lecture. In addition, they are deepened in presence exercises in small groups, as well as through individual presentations. Through practical exercise, methods are implemented and applied. **Learning Material, Literature** • Lecture slides, scientific literature and specific readings will be provided during the course.

Quantum Complexity Theory			
Quantum Complexity Theory			
Modulnummer / Module number: M.079.4063	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05811 Quantum Complexity Theory	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05811 Quantum Complexity Theory	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Quantum Complexity Theory:
Empfohlene Vorkenntnisse
Lineare Algebra, Quanteninformatik

none

Prerequisites of course Quantum Complexity Theory:
Recommended Proficiencies
Linear Algebra, Quantum Computing

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Quantum Complexity Theory:* Diese Vorlesung gibt einen kurzen Überblick über die Grundlagen von Quanteninformatik und wendet sich anschließend der Quantenkomplexitätstheorie zu. Dabei werden sowohl einführende als auch vertiefende Themen behandelt wie die Analoga zu P und NP (bezeichnet als BQP, QCMA, and QMA), Quanten-Erfüllbarkeitsprobleme, Quanten-interaktive Beweise und Tensor-Netzwerke. Begleitend wird semidefinite Programmierung als ein wichtiges Werkzeug eingeführt. • Komplexitätsklassen BQP, QCMA, QMA • Quantenalgorithmen für die Lösung linearer Systeme • Quanten-Erfüllbarkeitsprobleme • Quanten-interaktive Beweise • Semidefinite Programmierung *Contents of the course Quantum Complexity Theory:* This lecture provides a brief review of introductory quantum computation, and subsequently moves into quantum complexity theory. Beginning to advanced topics will be covered, including quantum analogues of P and NP (denoted BQP, QCMA, and QMA), quantum satisfiability problems, quantum interactive proofs, and tensor networks. Along the way, semidefinite programming will be introduced as an important tool. • Complexity classes BQP, QCMA, QMA • Quantum algorithms for linear system solving • Quantum Satisfiability Problems • Quantum Interactive Proofs • Semidefinite Programming
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden sind in der Lage • Sprachklassen von Versprechensklassen zu unterscheiden • grundlegende Quantenkomplexitätsklassen, wie BQP und QMA, zu definieren • BQP-Härte-Resultate über Polynomialzeit-Reduktionen zu beweisen • Beweis von QMA-Härteergebnissen über Polynomialzeit-Reduktionen • Anwendung der semidefiniten Programmierung zur Analyse von interaktiven Quantenbeweisen Students will be able to • Distinguish language classes from promise classes • Define fundamental quantum complexity classes, such as BQP and QMA • Prove BQP-hardness results via polynomial-time reductions • Prove QMA-hardness results via polynomial-time reductions • Apply semidefinite programming to analyze quantum interactive proofs

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Sevag Gharibian
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Quantum Complexity Theory:* **Methodische Umsetzung** Eine Mischung aus Folien und Tafelanschrieb. Alle wichtigen Konzepte und Techniken werden in Übungen anhand von Beispielen weiter vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • S. Gharibian, Y. Huang, Z. Landau, S. W. Shin, Quantum Hamiltonian Complexity, Foundations and Trends in Theoretical Computer Science • Vorlesungsfolien, Übungsaufgaben *Remarks of course Quantum Complexity Theory:* **Implementation method** Slides and blackboard writing. All important concepts and techniques are further deepened with examples in exercises. **Learning Material, Literature** • Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press • S. Gharibian, Y. Huang, Z. Landau, S. W. Shin, Quantum Hamiltonian Complexity, Foundations and Trends in Theoretical Computer Science • Lecture slides, assignments

Real World Crypto Engineering			
Real World Crypto Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.4067	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.079.05704 Real World Crypto Engineering	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05704 Real World Crypto Engineering	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Real World Crypto Engineering:
Empfohlene Vorkenntnisse
Basiskenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Kryptographie

none

Prerequisites of course Real World Crypto Engineering:
Recommended Proficiencies
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Real World Crypto Engineering:* Starke Kryptographie ist nicht immer ausreichend, um die grundlegenden Sicherheitsziele zu schützen. Auch wenn starke kryptographische Algorithmen verwendet werden, kann bei deren Einsatz viel schief gehen. In dieser Vorlesung werden wir auf die wichtigsten Protokolle und kryptographische Schutzmechanismen eingehen (z.B. TLS, SSH, WPA) und werden ihre Basiskonzepte kennenlernen. Anschließend werden wir prominente Angriffe vorstellen, die die gewünschten Sicherheitsziele komplett gebrochen haben. Basierend auf vielen Fällen werden wir lernen, was beim Design und bei der Implementierung von kryptographischen Anwendungen wichtig ist. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Kurze Einführung in die Kryptograhie • TLS (Transport Layer Security) • Angriffe auf TLS (z.B. ROBOT, DROWN, Invalid Curve) • Evaluation von Implementierungen mit systematischen Methoden (z.B. mit Fuzzing oder State Learning) • SSH (Secure Shell) • Signal • Kryptographische Währungen *Contents of the course Real World Crypto Engineering:* Strong cryptography is not always sufficient to protect primary security goals. Even if strong cryptographic algorithms are used, a lot can go wrong when they are implemented. This lecture will dive into the most important protocols and cryptographic protection mechanisms (e.g., TLS, SSH, WPA) and show their basic concepts. Then, we will present prominent attacks that ultimately break the desired security goals. Based on many cases, we will learn what is essential when designing and implementing cryptographic applications. The course includes the following contents: • Brief introduction to cryptography • TLS (Transport Layer Security) • Attacks on TLS (e.g., ROBOT, DROWN, or Invalid Curve) • Evaluation of implementations with systematic methods (e.g., with fuzzing or state learning) • SSH (Secure Shell) • Signal • Cryptocurrencies
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • Konzepte hinter wichtigsten kryptographischen Protokollen verstehen • Gängige Angriffe auf kryptographische Protokolle verstehen und verhindern • Analysen von kryptographischen Implementierungen mit systematischen Methoden und gängigen Werkzeugen durchführen • Implementierungsfehler und sicherheitstechnische Probleme in kryptographischen Protokollen erkennen und bewerten

Students will be able to

- Understand concepts behind major cryptographic protocols
- Understand and prevent common attacks on cryptographic protocols
- Conduct analyses of cryptographic implementations using systematic methods and standard tools
- Identify and assess implementation errors and security issues in cryptographic protocols

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Juraj Somorovsky
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Real World Crypto Engineering:* **Methodische Umsetzung:** Die Inhalte werden durch eine Präsentation in Form einer Vorlesung mit Beamer vermittelt. Dazu werden sie durch individuelle praktische Aufgaben vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben:** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Wissenschaftliche Literatur • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Real World Crypto Engineering:* **Implementation method:** The topics are conveyed through lecture presentations. They are further deepened through individual practical tasks. **Learning Material, Literature:** • Lecture slides and exercise sheets • Scientific literature • Additional literature will be announced in the course.

Usable Security and Privacy			
Usable Security and Privacy			
Modulnummer / Module number: M.079.4086	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05804 Usable Security and Privacy	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05804 Usable Security and Privacy	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Usable Security and Privacy:* Menschliche Faktoren und Aspekte über die Benutzerfreundlichkeit nehmen in der IT-Sicherheit und in der Entwicklung sicherer Systeme traditionell eine geringe Rolle ein. Thematiken der Benutzerfreundlichkeit werden von Sicherheitsexperten weitgehend vernachlässigt, weil ihre Bedeutsamkeit nicht ausreichend geschätzt wird und diese nicht über ausreichende Kenntnisse verfügen, um sie anzugehen. Heute besteht ein Konsens darüber, wie wichtig es ist, das Verhalten der Benutzer zu verstehen und die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, um robuste IT-Sicherheit zu erreichen. Dieser Kurs vermittelt praktisches und forschungsorientiertes Wissen über nutzbare Sicherheit und Privatsphäre. Die Studierenden sammeln praktische Erfahrungen durch Präsenzübungen und arbeiten in kleinen Teams an einem semesterweiten Forschungsprojekt mit dem Ziel, eine Nutzerstudie zu menschenzentrierter Sicherheit und Privatsphäre zu entwerfen und durchzuführen. Dazu werden im Kurs Forschungsmethoden vorgestellt und eine Einführung in HCI- und Usability-Konzepte gegeben. Der Kurs wird sich auch mit grundlegenden und aktuellen Forschungsthemen in diesem Bereich befassen, wie z.B. Tools zur Verbesserung der Privatsphäre und Transparenz, benutzerfreundliche Authentifizierung und entwicklerzentrierte IT-Sicherheit. Durch die Sichtung relevanter Paper und das Halten von Referaten werden die Studierenden mit dem neuesten Stand der Forschung auf diesem Gebiet vertraut gemacht und lernen, wie man wissenschaftlich arbeitet. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Konzepte für Sicherheit und Datenschutz/Privatsphäre • Grundlagen der Kryptographie • Technologien zur Verbesserung der Privatsphäre und der Transparenz • HCI- und Usability-Forschungsmethoden • Ethik in der Technik • Quantitative und qualitative Datenanalyse • Nutzbare Authentifizierung • Nutzbare Privatsphäre • Entwickler-zentrierte Sicherheit

	Contents of the course Usable Security and Privacy: Human factors and usability issues have traditionally played a limited role in security research and secure systems development. Usability issues have been largely disregarded by security experts due to their failure to acknowledge their significance and their insufficient knowledge to tackle them. Today there is consensus on the importance of understanding users behavior and improving usability to achieve true security. This course provides practical and research-oriented knowledge about usable security and privacy. Students will gain practical experience through focused presence exercises and work in small teams to conduct a semester-wide research project with the goal of designing and pretesting a user study on human-centered security and privacy. For that, the course will present research methods and give an introduction into HCI and usability concepts. The course will also address foundational and state-of-the-art research topics in the area, such as privacy and transparency enhancing tools, usable authentication, and developer-centered security. By reviewing relevant papers and giving presentations, the students will get familiar with the latest research in the field and gain knowledge about how to work scientifically. The course includes the following contents: • Security and privacy concepts • Foundations of cryptography • Privacy and transparency enhacing tools • HCI and usability research methods • Ethics in technology • Quantitative and qualitative data analysis • Usable authentication • Usable privacy • Developer-centered security
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden werden • ein Verständnis für die Bedeutung der Sicherheit und des Schutzes der Privatsphäre bei der Nutzung entwickeln • sich mit der Geschichte des Fachgebiets und den wichtigsten Forschungsbereichen und Herausforderungen vertraut machen • in der Lage sein, Methoden zur Durchführung von Nutzerforschung im Bereich Sicherheit und Datenschutz anzuwenden • den aktuellen Forschungsstand zum Thema kennenlernen Students will • gain an appreciation for the importance of usable security and privacy • learn about the history of the field and main research areas and challenges • are able to apply methodologies to conduct user research in security and privacy • get familiar with the latest research in the field

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Patricia Arias Cabarcos
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Usable Security and Privacy:* **Methodische Umsetzung** Grundlegende Konzepte werden in Form einer Vorlesung präsentiert. Durch die Teilnahme an Präsenzübungen und die Durchführung eines Forschungsprojekts in kleinen Gruppen, das sich auf eine Nutzerstudie für die Forschung im Bereich Sicherheit und Privatsphäre konzentriert, können die Studierenden im Laufe des Semesters vertiefte theoretische und praktische Kenntnisse erwerben. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Lazar, J., Feng, J.H. and Hochheiser, H., 2017. Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann. • Redmiles, E.M., Acar, Y., Fahl, S. and Mazurek, M.L., 2017. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers. • Folien und Verweise auf wissenschaftliche Literatur werden während der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Usable Security and Privacy:* **Implementation method** Basic concepts are presented in a lecture style format. By engaging in presence exercises and conducting a research project in small groups focused on a user-study for usable security and privacy research throughout the semester, students can acquire more profound theoretical and practical knowledge. **Learning Material, Literature** • Lazar, J., Feng, J.H. and Hochheiser, H., 2017. Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann. • Redmiles, E.M., Acar, Y., Fahl, S. and Mazurek, M.L., 2017. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers. • Slides and scientific literature references will be given during the course.

Web Security			
Web Security			
Modulnummer / Module number: M.079.4073	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05809 Web Security	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05809 Web Security	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Web Security:
Empfohlene Vorkenntnisse
Kenntnisse in Programmierung, IT-Sicherheit und Basiskenntnisse in Kryptographie

none

Prerequisites of course Web Security:
Recommended Proficiencies
Knowledge in programming, IT security and basic knowledge in cryptography

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Web Security:* Moderne Webapplikationen und Webservices sind oft vielschichtig und basieren auf unterschiedlichen (oft komplexen) Technologien, die ständig weiterentwickelt werden. Deren Komplexität ist oft der Grund für neuartige Angriffe, die im Web-Bereich täglich zu sehen sind. In dieser Vorlesung werden wir auf die wichtigsten Technologien eingehen und lernen, worauf man bei der sicheren Web-Entwicklung achten muss. Dabei werden wir prominente und weit verbreitete Angriffe vorstellen und zeigen, wie man die verhindert. Dazu gehören typische Angriffe aus der OWASP Top 10 Liste wie XSS oder SQL Injection bis hin zu Angriffen auf Webservices und Single Sign-On Standards (wie SAML und OpenID Connect). Basierend auf vielen Fällen werden wir lernen, was beim Design und bei der Implementierung von Webapplikationen wichtig ist. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Einführung in Web Technologien • Web Angriffe – Cross-Site Scripting (XSS) – Cross-Site Request Forgery (CSRF) – Clickjacking – SQL injection • XML und SAML – Angriffe auf XML Parser – Angriffe auf XML Signatur • JSON und OpenID Connect (OIDC) – Angriffe auf OIDC

	Contents of the course Web Security: Modern web applications and web services usually consist of multiple layers. They are based on different (often complex) technologies that are constantly being developed. Their complexity is often the reason for new types of attacks that can be observed on the web every day. In this lecture, we will focus on the most important technologies and learn what you have to consider while securing your web applications. We will introduce prominent and widespread attacks and show how to prevent them. These range from typical attacks from the OWASP Top 10 list, such as XSS or SQL Injection, to attacks on web services and Single Sign-On standards (e.g., on SAML and OpenID Connect). Based on many cases, we will learn what is important in the design and implementation of secure web applications. The course includes the following contents: • Introduction to web technologies • Web Attacks – Cross-Site Scripting (XSS) – Cross-Site Request Forgery (CSRF) – Clickjacking – SQL injection • XML and SAML – Attacks on XML parsers – Attacks on XML Signature • JSON and OpenID Connect (OIDC) – Attacks on OIDC
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • Sicherheitskonzepte hinter Web-Applikationen verstehen • gängige Angriffe auf Web-Applikationen verstehen und verhindern • praktische Analysen von Web-Applikationen mit gängigen Werkzeugen durchführen • Implementierungsfehler und sicherheitstechnische Probleme in Web-Applikationen erkennen und bewerten Students will be able to • Understand security concepts behind web applications • Understand and prevent common attacks on web applications • Carry out practical analyses of web applications with common tools • Identify and assess implementation errors and security problems in web applications

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Juraj Somorovsky
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Web Security:* **Methodische Umsetzung:** Die Inhalte werden durch eine Präsentation in Form einer Vorlesung mit Beamer vermittelt. Dazu werden sie durch individuelle praktische Aufgaben vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben:** • Vorlesungsfolien und Übungsblätter • Wissenschaftliche Literatur • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Web Security:* **Implementation method:** The topics are conveyed through lecture presentations. They are further deepened through individual practical tasks. **Learning Material, Literature:** • Lecture slides and exercise sheets • Scientific literature • Additional literature will be announced in the course.

3.11 Informatik-Focus Area Software Engineering

Concepts of Computer Science			
Concepts of Computer Science			
Modulnummer / Module number: M.079.4203	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05721 Concepts of Computer Science	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05721 Concepts of Computer Science	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Concepts of Computer Science:
Empfohlene Vorkenntnisse

- Gute Allgemeinbildung
- Fähigkeit, längere und komplexe Texte aus der Informatik und den Geisteswissenschaften zu lesen und zu analysieren

	none *Prerequisites of course Concepts of Computer Science:* **Recommended Proficiencies** • Good general education • Ability to read and analyze longer and complex texts from computer science as well as the humanities
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Concepts of Computer Science:* In der Veranstaltung wird das Zusammenspiel digitaler Artefakte und kognitiver Aktivitäten untersucht. Dazu werden die erkenntnistheoretischen und methodischen Grundlagen entwickelt, die es erlauben, die vielfältigen Beziehungen zwischen Informatiksystemen und ihren Anwendungen so zu thematisieren, dass die informatikspezifischen Konsequenzen sichtbar werden. In der Veranstaltung werden diese Konzepte historisch, technisch und hinsichtlich ihrer Potenziale systematisch aufbereitet und bewertet. Die Veranstaltung erörtert die relevanten Grundbegriffe und -konzepte der Informatik mit besonderem Augenmerk auf die Unterscheidung zwischen technischen Konzepten und der Nutzungssphäre. Vor diesem Hintergrund werden Theorien interaktiver Systeme betrachtet, um insbesondere die Rolle technischer Artefakte für geistige Prozesse untersuchen. Bei der Entwicklung von Informatiksystemen müssen die relevanten Daten und Prozesse bis zu einem gewissen Grad antizipiert und als formales System beschrieben werden. Dies wirft Fragen auf, unter welchen Bedingungen eine solche formale Beschreibung adäquat erfolgen kann und welche Konsequenzen sich daraus in Bezug auf die Zuverlässigkeit und den verantwortbaren Einsatz von Informatiksystemen ergeben. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Grundbegriffe der Informatik • Geschichtliche Einordnung von Entwicklungen der Informatik • Digitale Medien und geistige Prozesse • Theorien digitaler Medien und interaktiver Systeme • Paradigmen der Unterstützung und Ersetzung von geistigen Prozessen • Modellierung und Formalisierung von Daten und Prozessen • Vertrauenswürdigkeit von Systemen

	Contents of the course Concepts of Computer Science: The course examines the interplay of digital artifacts and cognitive performance. For this purpose, the epistemological and methodological foundations will be developed that allow the diverse relationships between computer science systems and their application to be addressed in such a way that the computer science-specific consequences become apparent. In the class, these concepts will be systematically analyzed and evaluated historically, technically, and with respect to their potentials. The lecture discusses the relevant theoretical and conceptual foundations of computer science. Special attention will be paid to differentiate between technical concepts and the sphere of usage. Against this background, theories of interactive systems will be explored in order to examine which role technical artifacts play with respect to processes of the mind. When developing computer systems, relevant data and processes need to be anticipated to a certain degree and modeled as formal systems. This raises issues like the question under which conditions such a formal description can be made in an adequate way and with which consequences regarding the reliability and responsible use of computer systems. The course includes the following contents: • Basic concepts of computer science • Historical background of developments in computer science • Digital media and mental processes • Theories of digital media and interactive systems • Paradigms of support and replacement of mental processes • Modeling and formalization of data and processes • Trustworthiness of systems
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • theoriegeleitet die Charakteristika von Informatiksystemen untersuchen, • kognitionspsychologische, soziologische und systemtheoretische Grundlagen der Informatik erklären • technische und nicht-technische Fragestellungen differenzieren und adäquat aufeinander beziehen, • aktuelle technologische Entwicklungen bewerten und vergleichen, • Innovationspotenziale im Bereich digitaler Technologien abschätzen, • Risiken und Potenziale für einen erfolgreichen Einsatz von Informatiksystemen abwägen. Students will be able to • examine the characteristics of computer systems in a theory-based manner, • explain cognitive-psychological, sociological and system-theoretical basics of computer science • differentiate technical and non-technical issues and relate them adequately to each other, • evaluate and compare current technological developments • assess innovation potentials in the field of digital technologies, • weigh risks and potentials for successful use of information technology systems.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Harald Selke
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Concepts of Computer Science:* **Methodische Umsetzung** Die Vorlesung folgt einem Flipped-Classroom-Konzept, bei dem die Studierenden auf der Basis der Lektüre wissenschaftlicher Literatur sowie eigener Recherchen Themengebiete kennenlernen. Sie stellen diese Themen dann im Stil eines Mini-Seminars in den Übungen in Kurzreferaten vor. Aufbauend darauf vermittelt dann die Vorlesung Zusammenhänge zwischen der in den Übungen behandelten Literatur und ergänzt diese um weitere Facetten. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Vorlesungsfolien • Wardrip-Fruin, N.; Montfort, N. (eds.): The New Media Reader. Cambridge, Ma.: MIT Press, 2003. • Begleitende wissenschaftliche Literatur wird in der Vorlesung vorgestellt. *Remarks of course Concepts of Computer Science:* **Implementation method** The lecture follows a flipped classroom concept in which students learn about topics based on their reading of scientific literature as well as individual research. They will then present these topics in short presentations in the tutorials in the style of a mini-seminar. Building on this, the lecture then conveys connections between the literature covered in the tutorials and adds further facets. **Learning Material, Literature** • Lecture slides • Wardrip-Fruin, N.; Montfort, N. (eds.): The New Media Reader. Cambridge, Ma.: MIT Press, 2003. • Additional scientific literature will be announced in the lectures.

Data-Driven Engineering			
Data-Driven Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.4204	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05722 Data-Driven Engineering	V2 Ü3	75	105	P	60/30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05722 Data-Driven Engineering	L2 Ex3	75	105	C	60/30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Data-Driven Engineering:* Ziel der Vorlesung ist ein umfassender Überblick der Potentiale und Anwendungsfälle im Data-driven Engineering. Es werden wichtige Grundlagen und Konzepte aus den Bereichen Engineering und Künstliche Intelligenz eingeführt und anhand aussagekräftiger Beispiele aus der Praxis erläutert. Das erlangte Wissen wird in den Übungen vertieft und umgesetzt. Im Rahmen von einem Gruppenprojekt entwickeln die Teilnehmer einen eigenen, funktionsfähigen Engineering Assistenten. Daten sind das Öl des 21. Jahrhunderts. Auch in der Produktentwicklung gewinnt die Bedeutung von Daten immer mehr an Bedeutung. Sowohl Felddaten als auch Entwicklungsdaten können mit Hilfe von modernen Datenanalysemethoden und KI-Verfahren verarbeitet werden, um die Effizienz und Effektivität der Produktentwicklung zu steigern. Die Vorlesung schafft einen Überblick über die Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze von Data-driven Engineering. Es werden theoretische Grundlagen und Konzepte eingeführt und exemplarische Anwendungen aus der Praxis vorgestellt. Dabei wird der Prozess von der Datenerfassung über Möglichkeiten zur Datenauswertung bis hin zur Entwicklung innovativer Assistenzsysteme betrachtet. Das erlangte Wissen wird in den Übungen vertieft und umgesetzt. Inhalte der Lehrveranstaltung sind: • Motivation und Begriffsdefinition • Potentiale von Data-driven Engineering • Engineering-IT und Datenmanagement entlang des Produkt-Lebenszyklus • Grundlagen von Data Analytics und KI (insb. generative AI) • Datenstrukturen und -formate der Produktentwicklung • Anwendungsbeispiele und Assistenzsysteme (Co-Pilots) entlang des Produkt-Lebenszyklus (von dem Requirements Engineering bis zur Produktionsplanung) • Methoden zur Planung und Umsetzung von Data-driven Engineering Use Cases • Technische Entwicklung von Assistenzsystemen (Co-Pilots) im Data-driven Engineering

	Contents of the course Data-Driven Engineering: The goal of the lecture is to provide a comprehensive overview of the potentials and use cases in data-driven engineering. Important fundamentals and concepts from the fields of engineering and artificial intelligence are introduced and explained using meaningful practical examples. The acquired knowledge is deepened and implemented in exercises. As part of a group project, participants will develop their own functional engineering assistant. Data is the oil of the 21st century. Data is also becoming increasingly important in product development. Both field data and development data can be processed using modern data analysis methods and AI processes to increase the efficiency and effectiveness of product development. The lecture provides an overview of the challenges and possible solutions of Data-driven Engineering. Theoretical principles and concepts are introduced and exemplary applications from practice are presented. The process is considered from data acquisition to possibilities for data evaluation and the development of innovative assistance systems. The acquired knowledge is deepened and implemented in the exercises. Contents of the course are: • Motivation and definition of terms • Potentials of data-driven engineering • Engineering IT and data management along the product life cycle • Fundamentals of data analytics and AI (in particular generative AI) • Data structures and formats in product development • Application examples and assistance systems (co-pilots) along the product life cycle (from requirements engineering to production planning) • Methods for planning and implementing Data-driven Engineering use cases • Technical development of assistance systems (co-pilots) in Data-driven Engineering
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden können • Potenziale des Data-driven Engineering erkennen und bewerten • Voraussetzungen für die Anwendung von Konzepten der datengetriebenen Produktentwicklung bewerten • Engineering-IT-Infrastrukturen analysieren und ausgestalten. • Anwendungsfälle der datengetriebenen Produktentwicklung planen und umsetzen • Assistenzsysteme (Co-Pilots) für Data-driven Use Cases konzipieren Students will be able to • recognize and evaluate the potential of Data-driven Engineering • evaluate prerequisites for the application of Data-driven product development concepts • analyze and design Engineering IT infrastructures • plan and implement use cases for Data-driven product development • design assistance systems (co-pilots) for Data-driven use cases

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Data-Driven Engineering:* **Methodische Umsetzung** Die Veranstaltung setzt sich aus drei Bausteinen zusammen: In der Vorlesung werden mit Hilfe von Folien grundlegende Konzepte des Data-driven Engineerings eingeführt und praxisnah mit Beispielen unterstrichen. In der begleitenden Übung werden die Konzepte von den Studierenden angewendet. Das Projekt ermöglicht zusätzlich die Anwendung des Gelernten in Gruppenarbeit. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Data-Driven Engineering:* **Implementation Method** The course consists of three components: In the lecture, basic concepts of data-driven engineering are introduced using slides and underlined with practical examples. In the accompanying exercise, the concepts are applied by the students. The project allows students to apply what they have learned in group work. **Learning Material, Literature** • Literature will be announced in the course.

Data-Driven Innovation			
Data-Driven Innovation			
Modulnummer / Module number: M.079.4076	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05822 Data-Driven Innovation	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05822 Data-Driven Innovation	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Data-Driven Innovation:* Innovationen entstehen, wenn Unternehmen erfolgreich neue oder verbesserte Produkte und Dienstleistungen auf den Markt bringen. Innovationen sind die Voraussetzung für Wohlstand, Wirtschaftswachstum und Wettbewerbsvorteile. Die zunehmende Digitalisierung aller Lebensbereiche hat zu zahlreichen neuen Ansätzen für Innovationen und deren Entwicklung geführt. Die Vorlesung Data-Driven Innovation gibt dazu einen grundlegenden Überblick: Es werden die Grundlagen des Innovations- und Datenmanagements besprochen, neue digitalisierte Marktleistungen und Geschäftsmodelle erörtert und die Auswirkungen auf den Innovationsprozess untersucht und analysiert. Darauf aufbauend beschäftigt sich die Vorlesung mit der Frage, wie Organisationen datengetriebene Innovationen umsetzen können. Das Modul umfasst die folgenden Inhalte: • Innovation und Daten – Grundlagen des Innovationsmanagements – Grundlagen von Daten in Organisationen • Datengesteuerte Angebote – Intelligente Produkte – Intelligente Dienstleistungen – Digitale Plattformen – Data Spaces & Digitale Geschäftsmodelle • Innovationsprozesse – Methoden und Werkzeuge des Innovationsmanagements – Datengetriebene Innovationsprozesse • Organisation der datengetriebenen Transformation – Digitale Transformation – Daten für Nachhaltigkeit nutzen

	Contents of the course Data-Driven Innovation: Innovations arise when companies successfully launch new or improved products and services on the market. Innovations are the prerequisite for prosperity, economic growth and competitive advantages. The increasing digitalization of all aspects of our lives has given rise to numerous new approaches to innovation and how it is created. The Data-Driven Innovation lecture provides a basic overview of this: The basics of innovation and data management are discussed, new digitized market services and business models are discussed and the impact on the innovation process is examined and analyzed. Building on this, the course deals with how organizations can implement data-driven innovations. The module includes the following content: • Innovation and Data – Fundamentals of Innovation Management – Fundamentals of Data in Organizations • Data-Driven Offerings – Smart Products – Smart Services – Digital Platforms – Data Spaces & Digital Business Models • Innovation Processes – Innovation Management Methods and Tools – Data-infused Innovation Processes • Organizing the data-driven Transformation – Digital Transformation – Using data for Sustainability
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • die Grundlagen des Innovations- und Datenmanagements sowie wesentliche Konzepte und Ansätze kennenlernen • verstehen, welchen Einfluss die Digitalisierung auf die Marktleistungen insbes. produzierender Unternehmen hat • in der Lage sein, Innovationsprozesse in der Praxis zu verstehen und zu reflektieren. • nachvollziehen, wie die Transformation zum datengetriebenen Unternehmen erfolgen kann • diverse Ansätze zur Analyse von Problemen und zur Lösungsfindung anwenden können. • in der Lage sein, Ideen systematisch zu finden, zu konzipieren, zu erproben und in Richtung Marktangang zu entwickeln.

The students

- become familiar with the basics of innovation and data management as well as key concepts and approaches
- understand the influence of digitalization on the market performance of manufacturing companies in particular
- be able to understand and reflect on innovation processes in practice
- understand how the transformation to a data-driven company can take place
- be able to apply various approaches to analyze problems and find solutions.
- be able to systematically find, conceptualize, test and develop ideas towards a market approach.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Christian Koldewey, Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Data-Driven Innovation:* **Methodische Umsetzung** Das Modul besteht aus zwei Teilen: 1. Vorlesung mit Folien: Grundlagen und Konzepte werden in der Vorlesung erläutert und mit Beispielen illustriert. 2. Übungen (Tutorium): In den Übungen wird das Wissen vermittelt und die Konzepte werden angewandt. Die Übungen müssen von den Studierenden selbst vorbereitet werden. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Gausemeier, Jürgen & Dumitrescu, Roman & Echterfeld, Julian & Pfänder, Tomas & Steffen, Daniel & Thielemann, Frank. (2018). Innovationen für die Märkte von morgen: Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. 10.3139/9783446429727. (https://www.hanser-fachbuch.de/fachbuch/artikel/9783446428249#content–desc) • Beverungen, Daniel & Dumitrescu, Roman & Kühn, Arno & Plass, Christoph. (2024). Digitale Plattformen im industriellen Mittelstand Strategien, Methoden, Umsetzungsbeispiele. • https://ki-marktplatz.com/wp-content/uploads/2021/02/KI-MP_Whitepaper.pdf • https://www.advanced-systems-engineering.de/#studie *Remarks of course Data-Driven Innovation:* **Implementation method** The module consists of two parts 1. lecture with slides: basics and concepts are explained in the lecture and illustrated with examples. 2. exercises (tutorial): In the exercises, knowledge is transferred and the concepts are applied. The exercises have to be prepared by the students themselves. **Learning Material, Literature** • Gausemeier, Jürgen & Dumitrescu, Roman & Echterfeld, Julian & Pfänder, Tomas & Steffen, Daniel & Thielemann, Frank. (2018). Innovationen für die Märkte von morgen: Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. 10.3139/9783446429727. (https://www.hanser-fachbuch.de/fachbuch/artikel/9783446428249#content–desc) • Beverungen, Daniel & Dumitrescu, Roman & Kühn, Arno & Plass, Christoph. (2024). Digitale Plattformen im industriellen Mittelstand Strategien, Methoden, Umsetzungsbeispiele. • https://ki-marktplatz.com/wp-content/uploads/2021/02/KI-MP_Whitepaper.pdf • https://www.advanced-systems-engineering.de/#studie

Data Science for Software Engineering			
Data Science for Software Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.4101	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Sommersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05817 Data Science for Software Engineering	V2 Ü3	75	105	P	30

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05817 Data Science for Software Engineering	L2 Ex3	75	105	C	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Data Science for Software Engineering:
Empfohlene Vorkenntnisse
Gute Programmierkenntnisse in Java und/oder Python sind hilfreich, um die Aufgaben zu erledigen. Grundlegende Hintergrundinformationen zum maschinellen Lernen sind hilfreich, um einige der Data-Science-Konzepte zu verstehen.

Prerequisites of course Data Science for Software Engineering:
Recommended Proficiencies
Good programming skills using Java and/or Python is helpful to make the assignments. Basic background on machine learning is helpful to understand some of the Data Science concepts.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Data Science for Software Engineering:* Softwareentwickler befassen sich bei ihrer täglichen Arbeit mit Software-Repositorien, etwa wenn sie Quellcode in Versionsverwaltungssystemen schreiben, Issues in Issue-Trackern posten, per E-Mail in Mailinglisten kommunizieren oder in Foren und Blogs diskutieren. Die großen Datenmengen in Software-Repositorien, ihre kontinuierliche Weiterentwicklung, Komplexität und Heterogenität stellen eine Herausforderung für Softwareentwickler dar. In den vergangenen Jahren haben Forscher Ansätze vorgeschlagen, die Methoden aus der Data Science Wissenschaftsfeld verwenden, um Softwareentwickler zu unterstützen. In dieser Lehrveranstaltung wird die Anwendung von Data-Science-Methoden auf Software- Repositorien erläutert, um allgemeine Software-Engineering-Aufgaben zu lösen. Die Lehrveranstaltung umfasst folgende Themen: • Arten und Struktur von Software-Repositorien. • Clustering von Quellcode. • Pipeline zur Verarbeitung natürlicher Sprache. • Themenmodellierung • Worteinbettung. • Information retrieval. • Überwachtes maschinelles Lernen. • Statistische Analyse. Konzepte werden in den Vorlesungen besprochen und mithilfe einer Reihe von Gruppenaufgaben angewendet, um Open-Source-Systeme zu analysieren und bestimmte Softwarearchitektur- und Wartungsaufgaben zu erfüllen. *Contents of the course Data Science for Software Engineering:* Software engineers deal with software repositories in their daily work, such as when they develop source code in version control systems, or post issues in issue trackers, or communicate through emails in mailing lists, or discuss in forums and blogs. The big amount of data in software repositories, their continuous evolution, complexity and heterogeneity present a challenge for software engineers. In the past years, researchers proposed approaches that use techniques from the data science to support software engineers. This course will explain the application of data science techniques on software repositories to achieve common software engineering tasks. The course includes the following topics: • Types and structure of software repositories. • Clustering of source code. • Natural language processing pipeline. • Topic modeling. • Word embedding. • Information retrieval. • Supervised machine learning. • Statistical analysis. Concepts are discussed in the lectures and applied using a set of group assignments to analyze opensource systems, ans achieve certain software architecture and maintenance tasks.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- Arten und Struktur von Software-Repositorien klären und diskutieren.
- die Hauptkonzepte von Data Science Methoden und deren Anwendung auf Software-Repositorien klären und diskutieren.
- Data Science Methoden auf große Software-Repositorien anwenden.
- aus den Analyseergebnissen nützliche Implikationen ableiten.
- analyseergebnisse in einem wissenschaftlichen Format zusammenfassen und berichten.
- in Gruppen arbeiten.
- einen fachlichen Vortrag halten.
- wissenschaftlich schreiben.

Students will be able to

- Clarify and discuss types and structure of software repositories.
- Clarify and discuss main concepts of data science techniques, and their application on sotware repositories.
- Apply data science techniques on large-scale software repositories.
- Derive useful implications from the analysis results.
- Summarize and report analysis results in a scientific format.
- Work in teams.
- Write scientific reports
- Present research results

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur oder mündliche Prüfung	90-120 min bzw. 30-45 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination	90-120 min or 30-45 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben und Kurzreferate		SL

zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
a)	Assignments and short presentations		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v3, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mohamed Aboubakr Mohamed Soliman
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Data Science for Software Engineering:* **Methodische Umsetzung** Der Schwerpunkt des Kurses liegt mehr auf der Anwendung von Data-Science-Methoden in der Softwareentwicklung als auf dem mathematischen Hintergrund von Data-Science-Methoden. Die Konzepte der Methoden werden durch eine Präsentation im Rahmen einer Vorlesung vermittelt und die Anwendung der Methoden durch Gruppenaufgaben und Präsentationen vertieft. **Lernmaterialien, Literaturangaben** Neben den Folien werden zu jedem Thema weitere Lernmaterialien aus prominenten Publikationen der Software-Engineering-Literatur bereitgestellt. *Remarks of course Data Science for Software Engineering:* **Implementation Method** The course focus on the application of data science methods in software engineering more than the mathematical background of data science methods. The main concepts of methods are conveyed through a presentation as part of a lecture and the application of methods is further investigated through group assignments and presentations. **Learning Material, Literature** Beside the slides, further learning materials from prominent publications in the software engineering literature will be provided for each topic.

Data Science in Industrial Applications			
Data Science in Industrial Applications			
Modulnummer / Module number: M.079.4075	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05795 Data Science in Industrial Applications	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05795 Data Science in Industrial Applications	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Data Science in Industrial Applications:* Die Lehrveranstaltung "Data Science in Industrial Applications" beschäftigt sich mit den Methoden und Techniken der Datenanalyse im industriellen Kontext. Die Studierenden erlernen grundlegende Konzepte der Datenanalyse und lernen, wie sie diese in der Praxis anwenden können. Die zunehmende Vernetzung von Maschinen, Sensoren und IT-Systemen vor dem Hintergrund der Industrie 4.0 hat zu einem rapiden Anstieg der verfügbaren Datenmengen geführt. Die Auswertung der Daten bietet ein enormes Potential für die Automatisierung von kognitiven Aufgaben, die Optimierung von Prozessen und die weitergehende Wertschöpfung aus Daten. Die Vorlesung gibt einen Überblick zu den Herausforderungen und Lösungsansätzen für die industrielle Anwendung von Data Science. Dies umfasst die Einbindung industrieller Datenquellen aus dem Feld, die IT-Landschaft in produzierenden Unternehmen und den Aufbau von (Big Data) Infrastruktur, typische Algorithmen im Bereich Zeitreihenverarbeitung, Optimierung oder Bildverarbeitung sowie die Einbettung in Unternehmensprozesse. Theoretische und methodische Grundlagen, Konzepte und Tools werden im Rahmen der Vorlesung eingeführt und anhand einer Case Study in Kleingruppen angewendet sowie in Heimübungen vertieft. Die theoretischen Konzepte zur Planung, Einführung und Durchführung von Industrial Data Science in der Theorie werden durch praktische reale Beispiele ergänzt. *Contents of the course Data Science in Industrial Applications:* The course "Data Science in Industrial Applications" deals with the methods and techniques of data analysis in an industrial context. Students learn basic concepts of data analysis and how to apply them in practice. The increasing networking of machines, sensors and IT systems in the context of Industry 4.0 has led to a rapid increase in the amount of available data. The analysis of data offers enormous potential for the automation of cognitive tasks, the optimization of processes and the further creation of value from data. The lecture will provide an overview of the challenges and solution approaches for the industrial application of Data Science. This includes the integration of industrial data sources from the field, the IT landscape in manufacturing companies and the setup of (Big Data) infrastructure, typical algorithms in the area of time series processing, optimization or image processing as well as the embedding in business processes. Theoretical and methodological basics, concepts and tools are introduced during the lecture and applied in small groups based on a case study as well as deepened in home exercises. The theoretical concepts for the planning, introduction and implementation of Industrial Data Science in theory are supplemented by practical real-life examples.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • verstehen die Herausforderungen der Anwendung von Data Science in industriellen Anwendungen, • besitzen einen Überblick typischer Anwendungsbeispiele, • können Methoden der Signalverarbeitung, des Maschinellen Lernens und der Statistik auf industrielle Problemstellungen anwenden, • können die Umsetzung von Datenakquise, Datenarchitektur und die Integration in Unternehmensprozesse planen, • sind in der Lage, Lösungen eigenständig und kooperativ zu erarbeiten, • beherrschen grundlegende Fähigkeiten des Projektmanagements.

Students

- understand the challenges of applying Data Science in industrial applications,
- have an overview of typical application examples,
- are able to apply methods of signal processing, machine learning, and statistics to industrial problems,
- are able to plan the implementation of data acquisition, data architecture, and integration into business processes,
- are able to develop solutions on their own as well as in cooperation,
- are proficient in basic project management skills.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu

13 **Sonstige Hinweise / Other Notes:**

Hinweise der Lehrveranstaltung Data Science in Industrial Applications:
Methodische Umsetzung
Die Lehrveranstaltung umfasst Vorlesungen (Folienbasiert), Übungen (interaktiv) und Projektarbeit. In den Vorlesungen werden die theoretischen Grundlagen der Datenanalyse im industriellen Kontext vermittelt. In den Übungen haben die Studierenden die Möglichkeit, das Gelernte anhand praktischer Aufgaben anzuwenden. Die Projektarbeit bietet den Studierenden die Möglichkeit, das erlernte Wissen in einem größeren Kontext anzuwenden und anzuwenden. In der Übung erfolgt ein Wissenstransfer und Anwendung der Konzepte an einer Case Study in Form von Workshops und Umsetzung einer Industrial Analytics Anwendung in selbstständiger Gruppenarbeit.
Lernmaterialien, Literaturangaben
Eine genauere Aufstellung über die Vorlesungsmaterialien und Literaturangaben erfolgt in der ersten Veranstaltung. Einen guten ersten Einblick in das Themenfeld geben:

- Wiendahl, Hans-Peter; Wiendahl, Hans-Hermann (2019): Betriebsorganisation für Ingenieure. 9., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary).
- Zahn, Erich; Schmid, Uwe (1996): Grundlagen und operatives Produktionsmanagement. Mit 42 Tabellen. Stuttgart: Lucius & Lucius (Grundwissen der Ökonomik Betriebswirtschaftslehre, 1).
- Günther Schuh; Achim Kampker: Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management 1 (VDI-Buch) (German Edition).
- Schuh, Günther; Riesener, Michael (2018): Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools. 3., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary). Online verfügbar unter http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446453340.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (2014): Produktionsmanagement. DOI: 10.1007/978-3-642-54288-6.
- Bishop, Christopher M. (2006): Pattern recognition and machine learning. New York: Springer (Information science and statistics).
- Cao, Longbing (2018): Data Science. In: ACM Comput. Surv. 50 (3), S. 1–42. DOI: 10.1145/3076253.
- Geron, Aurelien (2019): Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: O'Reilly Media.
- Goodfellow, Ian; Bengio, Yoshua; Courville, Aaron (2016): Deep Learning. MIT Press.
- James, Gareth; Witten, Daniela; Hastie, Trevor; Tibshirani, Robert (2013): An Introduction to Statistical Learning. New York, NY: Springer New York (103).
- Mitchell, Tom M. (1997): Machine Learning. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill series in computer science).
- Runkler, Thomas A. (2016): Data Analytics. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Russell, Stuart (2009): Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd Edition. Pearson.
- Schutt, Rachel; O'Neil, Cathy (2013): Doing data science. Straight talk from the frontline. 1. ed. Beijing: O'Reilly.

Remarks of course Data Science in Industrial Applications:

Implementation Method

The course includes lectures (slide-based), exercises (interactive), and project work. In the lectures, the theoretical basics of data analysis in an industrial context are taught. In the exercises, students have the opportunity to apply what they have learned by means of practical tasks. The project work offers the students the opportunity to apply the learned knowledge in a larger context. In the exercise, knowledge transfer and application of the concepts take place in a case study in the form of workshops and implementation of an industrial analytics application in independent group work.

Learning Material, Literature

A more detailed list of the lecture materials and references will be given in the first course. A good first insight into the subject area is given by:

- Wiendahl, Hans-Peter; Wiendahl, Hans-Hermann (2019): Betriebsorganisation für Ingenieure. 9., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary).
- Zahn, Erich; Schmid, Uwe (1996): Grundlagen und operatives Produktionsmanagement. Mit 42 Tabellen. Stuttgart: Lucius & Lucius (Grundwissen der Ökonomik Betriebswirtschaftslehre, 1).
- Günther Schuh; Achim Kampker: Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management 1 (VDI-Buch) (German Edition).
- Schuh, Günther; Riesener, Michael (2018): Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools. 3., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser (Hanser eLibrary). Online verfügbar unter http://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446453340.
- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (2014): Produktionsmanagement. DOI: 10.1007/978-3-642-54288-6.
- Bishop, Christopher M. (2006): Pattern recognition and machine learning. New York: Springer (Information science and statistics).
- Cao, Longbing (2018): Data Science. In: ACM Comput. Surv. 50 (3), S. 1–42. DOI: 10.1145/3076253.
- Geron, Aurelien (2019): Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: O'Reilly Media.
- Goodfellow, Ian; Bengio, Yoshua; Courville, Aaron (2016): Deep Learning. MIT Press.
- James, Gareth; Witten, Daniela; Hastie, Trevor; Tibshirani, Robert (2013): An Introduction to Statistical Learning. New York, NY: Springer New York (103).
- Mitchell, Tom M. (1997): Machine Learning. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill series in computer science).
- Runkler, Thomas A. (2016): Data Analytics. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Russell, Stuart (2009): Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd Edition. Pearson.
- Schutt, Rachel; O'Neil, Cathy (2013): Doing data science. Straight talk from the frontline. 1. ed. Beijing: O'Reilly.

Designing code analyses for large-scale software systems 1

Designing code analyses for large-scale software systems 1

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4070	180	6	Wintersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	1-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05781 Designing code analyses for large-scale software systems 1	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05781 Designing code analyses for large-scale software systems 1	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 1:
Empfohlene Vorkenntnisse
Ein gutes Verständnis von Java und den Prinzipien objektorientierter Programmierung ist hilfreich.

	none *Prerequisites of course Designing code analyses for large-scale software systems 1:* **Recommended Proficiencies** A mature understanding of the Java programming languages and object-oriented programming will be helpful.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 1:* Statische Codeanalysen dienen u.a. dazu, automatisiert Fehler und Schwachstellen im Programmcode aufzufinden. Zu diesem Zwecke suchen sie nach bekannten Fehlermustern. In dieser Vorlesung wird erklärt, wie man solche Codeanalysen entwirft, die inter-prozedural sind, also das komplette Programm betrachten, über die Grenzen einzelner Prozeduren hinweg. Der Entwurf solcher Analysen gestaltet sich deshalb sehr schwierig, weil die Analysen oft Millionen von Programmstatements gleichermaßen präzise aber auch effizient verarbeiten müssen. Es werden außerdem Beispielsanalysen aus dem Bereich der IT-Sicherheit besprochen. Diese Veranstaltung ist Teil einer Kombination DECA 1/2. In DECA 2 werden aktuelle Ansätze aus der Forschung besprochen. Es wird dringend empfohlen zuerst DECA 1 und dann DECA 2 zu belegen. **Behandelte Themen:** • Typsysteme und fluss-insensitive Analysen • Endliche Verbände und Fixpunkte • Intra-prozedurale fluss-sensitive Codeanalysen • Intervallanalyse, Widening und Narrowing • Erstellen von Call-graphen • Pointer-Analyse • Inter-prozedurale Codeanalysen • Context-sensitive Analyse mit dem Call-strings Approach • Context-sensitive Analyse mit dem Functional approach • Value-based Termination, VASCO • Distributive Analysen mit IFDS • Praktische Definitionen von Flussfunktionen • Distributive Analysen mit IDE Während der gesamten Veranstaltung werden Anwendungsbeispiele aus dem Gebiet der Softwaresicherheit diskutiert.

	Contents of the course Designing code analyses for large-scale software systems 1: Static code analysis is frequently used to find programming mistakes automatically, by searching for suspicious anti-patterns in a program's code. This course will explain how to design static code analysis that are inter-procedural, i.e., consider the whole program, across procedure boundaries. Designing such analyses is challenging, as they need to handle millions of program statements efficiently and precisely. Example applications are drawn from the area of IT security. This course is part of a combination DECA 1/2. In DECA 2 we will be covering current approaches directly our of research. We strongly recommend attending DECA 1 before DECA 2. **Topics covered include:** • Type systems and flow-insensitive, contraint-based analysis • Lattices and fixed points • Intra-procedural flow-sensitive static code analysis • Interval analysis, widening and narrowing • Call-graph construction • Pointer Analysis • Inter-procedural program analysis • Call-strings approach to context-sensitive analysis • Functional approach to context-sensitive analysis • Value-based termination, VASCO • Distributive analyses using IFDS • Sensible arrangements of Flow Functions • Distributive analyses using IDE Throughout, we will discuss applications to software security.
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden • die wichtigsten Konzepte und Algorithmen im Bereich der statischen Programmanalyse benennen und unterscheiden • erklären, welche Auswirkungen verschiedene alternativer Entwurfsentscheidungen beim Entwurf einer statischen Programmanalyse nach sich ziehen • einfachere statische Programmanalysen selbst implementieren und anwenden sowie deren Funktion illustrieren • Datenstrukturen und Algorithmen zur statischen Programmanalyse gegenüberstellen und vergleichen • die Anwendbarkeit bestimmter Analyseverfahren auf bestimmte Anwendungskontexte bewerten und begründen sowie • durch Komposition mehrerer Analyseverfahren Werkzeuge zur statischen Programmanalyse selbst entwickeln.

Upon completion of the module, students will be able to

- name and distinguish the most important concepts and algorithms in the field of static program analysis
- explain the effects of various alternative design decisions when designing a static program analysis
- implement and apply simple static program analyses themselves and illustrate their function
- contrast and compare data structures and algorithms for static program analysis
- evaluate and justify the applicability of certain analysis procedures to specific application contexts, and
- develop tools for static program analysis by composing several analysis methods.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eric Bodden
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 1:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Gruppenübungen sowie praktische Programmierübungen mit weltweit genutzten Frameworks für die statische Codeanalyse **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Thomas Reps, Susan Horwitz, and Mooly Sagiv. 1995. Precise interprocedural dataflow analysis via graph reachability. POPL '95 • Shmuel Sagiv, Thomas W. Reps, and Susan Horwitz. 1995. Precise Interprocedural Dataflow Analysis with Applications to Constant Propagation. TAPSOFT '95 • Akash Lal, Thomas Reps, and Gogul Balakrishnan. 2005. Extended weighted pushdown systems. CAV 2005 • Nomair A. Naeem, Ondrej Lhoták, and Jonathan Rodriguez. 2010. Practical extensions to the IFDS algorithm. CC 2010 • Yannis Smaragdakis, Martin Bravenboer, and Ondrej Lhoták. 2011. Pick your contexts well: understanding object-sensitivity. POPL 2011 • Eric Bodden. 2012. Inter-procedural data-flow analysis with IFDS/IDE and Soot. SOAP 2012 • Rohan Padhye, Uday P. Khedker. Interprocedural Data Flow Analysis in Soot using Value Contexts. SOAP 2013

Remarks of course Designing code analyses for large-scale software systems 1:
Implementation method
Lectures and group exercises as well as practical programming labs using worldwide leading frameworks for static code analysis
Learning Material, Literature

- Thomas Reps, Susan Horwitz, and Mooly Sagiv. 1995. Precise interprocedural dataflow analysis via graph reachability. POPL '95
- Shmuel Sagiv, Thomas W. Reps, and Susan Horwitz. 1995. Precise Interprocedural Dataflow Analysis with Applications to Constant Propagation. TAPSOFT '95
- Akash Lal, Thomas Reps, and Gogul Balakrishnan. 2005. Extended weighted pushdown systems. CAV 2005
- Nomair A. Naeem, Ondrej Lhoták, and Jonathan Rodriguez. 2010. Practical extensions to the IFDS algorithm. CC 2010
- Yannis Smaragdakis, Martin Bravenboer, and Ondrej Lhoták. 2011. Pick your contexts well: understanding object-sensitivity. POPL 2011
- Eric Bodden. 2012. Inter-procedural data-flow analysis with IFDS/IDE and Soot. SOAP 2012
- Rohan Padhye, Uday P. Khedker. Interprocedural Data Flow Analysis in Soot using Value Contexts. SOAP 2013

Designing code analyses for large-scale software systems 2

Designing code analyses for large-scale software systems 2

Modulnummer / Module number:	**Workload (h):**	**Leistungspunkte / Credits:**	**Turnus / Regular Cycle:**
M.079.4071	180	6	Sommersemester
Sprache / Language:	**Studiensemester / Semester number:**	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):**	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)**
en	2-3	1	P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehrform**	**Kontaktzeit (h)**	**Selbststudium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppengröße (TN)**
a)	L.079.05800 Designing code analyses for large-scale software systems 2	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05800 Designing code analyses for large-scale software systems 2	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 2:
Empfohlene Vorkenntnisse
Der vorherige Besuch der Veranstaltung DECA 1 wird dringend empfohlen. Ein gutes Verständnis von Java und/oder C++ und den Prinzipien objektorientierter Programmierung ist hilfreich.

	none *Prerequisites of course Designing code analyses for large-scale software systems 2:* **Recommended Proficiencies** We strongly recommend that attendees have completed DECA 1 beforehand. A mature understanding of the Java and/or C++ programming languages and object-oriented programming will be helpful.
4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 2:* Statische Codeanalysen dienen dazu, automatisiert Fehler und Schwachstellen im Programmcode aufzufinden. Zu diesem Zwecke suchen sie nach bekannten Fehlermustern. In dieser Vorlesung wird erklärt, wie man solche Codeanalysen entwirft, die inter-prozedural sind, also das komplette Programm betrachten, über die Grenzen einzelner Prozeduren hinweg. Der Entwurf solcher Analysen gestaltet sich deshalb sehr schwierig, weil die Analysen oft Millionen von Programmstatements gleichermaßen präzise aber auch effizient verarbeiten müssen. Es werden außerdem Beispielsanalysen aus dem Bereich der IT-Sicherheit besprochen. Diese Lehrveranstaltung knüpft an an die Veranstaltung DECA 1. In DECA 2 werden vor allem neuartige Konzepte direkt aus der Forschung besprochen, beispielsweise sogenannte demand-driven analyses, welche sich durch eine präzisere und gleichzeitig effizientere Analyse auszeichnen, aber auch Pushdown-Systeme, die eine elegante Modellierung und ebenso schnelle Ausführung von Programmanalysen erlauben. Zu guter letzt erklären wir aktuelle Lösungsansätze zu praktischen Problemen in der statischen Analyse wie beispielsweise der Nutzung von Reflection und nativem Code. **Behandelte Themen:** • Programmanalyse von Software-Produktlinien • Modellierung von Call Stacks und Feldzugriffen mit Pushdown-Systemen • Modellierung von weiterer Analyseinformationen mit Weighted Pushdown Systems • Effizienz- und Präzisionsgewinne durch bedarfsgesteuerte Programmanalyse • Synchronisierte Pushdown-Systeme im Boomerang-Framework • Angewandte Android-Code-Analyse mit FlowDroid • Behandlung von Reflexion mittels TamiFlex • Hybride statische und dynamische Analyse mit Harvester • Lernen von Quell-, Senken- und Sanitizer-Definitionen mit SWAN und SWAN Assist • Erklärbare statische Analyse

	Contents of the course Designing code analyses for large-scale software systems 2: Static code analysis has the goal of finding programming mistakes automatically, by searching for suspicious anti-patterns in a program's code. This course will explain how to design static code analysis that are inter-procedural, i.e., consider the whole program, across procedure boundaries. Designing such analyses is challenging, as they need to handle millions of program statements efficiently and precisely. Example applications are drawn from the area of IT security. This course builds on the DECA 1 course. In DECA 2, we discuss novel concepts directly from research, for example so-called demand-driven analyses, which are characterized by a more precise and at the same time more efficient analysis, but also pushdown systems, which provide a allow elegant modeling and at the same time fast execution of program analyses. Last but not least, we explain current solutions to practical problems in static analysis, such as the use of reflection and native code. **Topics covered include:** • Program analysis of software product lines • Modeling call stacks and field accesses with Pushdown Systems • Modeling auxiliary analysis information with Weighted Pushdown Systems • Efficiency and precision gains through Demand-driven Program Analysis • Synchronized Pushdown Systems in the Boomerang framework • Applied Android code analysis with FlowDroid • Dealing with Reflection through TamiFlex • Hybrid static and dynamic analysis with Harvester • Learning source, sink and sanitizer definitions with SWAN and SWAN Assist • Explainable static analysis
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen** / **Learning outcomes and competences:** Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden • die wichtigsten Herausforderungen bei der inter-prozeduralen statischen Programmanalyse benennen und erklären • aktuelle Verfahren im Bereich der inter-prozeduralen statischen Programmanalyse benennen und unterscheiden • erklären, welche Auswirkungen verschiedene alternativer Entwurfsentscheidungen beim Entwurf einer inter-prozeduralen statischen Programmanalyse nach sich ziehen • Datenstrukturen und Algorithmen zur inter-prozeduralen statischen Programmanalyse gegenüberstellen und vergleichen • die Anwendbarkeit aktueller Analyseverfahren in einer breiten Auswahlen von Anwendungskontexten bewerten und begründen. Upon completion of the module, students will be able to • name and explain the most important challenges in inter-procedural static program analysis • name and distinguish current methods in the field of inter-procedural static program analysis • explain the implications of various alternative design decisions in the design of an inter-procedural static program analysis. • contrast and compare data structures and algorithms for inter-procedural static program analysis and • evaluate and justify the applicability of current analysis techniques in a broad range of application contexts.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	120-180 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	120-180 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Bestehen der Studienleistung

Passing of course achievement

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr. Eric Bodden
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Designing code analyses for large-scale software systems 2:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Gruppenübungen sowie Programmierübungen mittels realer, weltweit genutzter Frameworks für die statische Analyse (bspw. Soot, Phasar, FlowDroid) **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Context-, Flow-, and Field-sensitive Data-flow Analysis Using Synchronized Pushdown Systems (Johannes Späth, Karim Ali, Eric Bodden), In Proceedings of the ACM SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages, pages 48:1–48:29, 3(POPL), 2019. • FlowDroid: Precise Context, Flow, Field, Object-sensitive and Lifecycle-aware Taint Analysis for Android Apps (Steven Arzt, Siegfried Rasthofer, Christian Fritz, Eric Bodden, Alexandre Bartel, Jacques Klein, Yves Le Traon, Damien Octeau, Patrick McDaniel), In Proceedings of the 35th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation, pages 259–269, PLDI '14, ACM, 2014. • Codebase-Adaptive Detection of Security-Relevant Methods (Goran Piskachev, Lisa Nguyen Quang Do, Eric Bodden), In ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA), 2019. • Taming Reflection: Aiding Static Analysis in the Presence of Reflection and Custom Class Loaders (Eric Bodden, Andreas Sewe, Jan Sinschek, Hela Oueslati, Mira Mezini), In ICSE '11: International Conference on Software Engineering, pages 241–250, ACM, 2011. *Remarks of course Designing code analyses for large-scale software systems 2:* **Implementation method** Lectures and group exercises as well as programming exercises using widely used real-world static analysis frameworks (e.g. Soot, Phasar, FlowDroid) **Learning Material, Literature** • Context-, Flow-, and Field-sensitive Data-flow Analysis Using Synchronized Pushdown Systems (Johannes Späth, Karim Ali, Eric Bodden), In Proceedings of the ACM SIGPLAN Symposium on Principles of Programming Languages, pages 48:1–48:29, 3(POPL), 2019. • FlowDroid: Precise Context, Flow, Field, Object-sensitive and Lifecycle-aware Taint Analysis for Android Apps (Steven Arzt, Siegfried Rasthofer, Christian Fritz, Eric Bodden, Alexandre Bartel, Jacques Klein, Yves Le Traon, Damien Octeau, Patrick McDaniel), In Proceedings of the 35th ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation, pages 259–269, PLDI '14, ACM, 2014. • Codebase-Adaptive Detection of Security-Relevant Methods (Goran Piskachev, Lisa Nguyen Quang Do, Eric Bodden), In ACM SIGSOFT International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA), 2019. • Taming Reflection: Aiding Static Analysis in the Presence of Reflection and Custom Class Loaders (Eric Bodden, Andreas Sewe, Jan Sinschek, Hela Oueslati, Mira Mezini), In ICSE '11: International Conference on Software Engineering, pages 241–250, ACM, 2011.

Human Factors in Security and Privacy			
Human Factors in Security and Privacy			
Modulnummer / Module number: M.079.4092	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	L.079.05733 Human Factors in Security and Privacy	V2 Ü3	75	105	P	70/35

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	L.079.05733 Human Factors in Security and Privacy	L2 Ex3	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

none

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Human Factors in Security and Privacy:* Menschen sind wichtige Akteure im Bereich Sicherheit. Ein nachweislich sicheres System ist nur dann nützlich, wenn es auch tatsächlich von den Benutzern verwendet werden kann, und Systementwickler müssen menschliches Verhalten berücksichtigen, wenn sie sowohl Sicherheit als auch Benutzerfreundlichkeit gewährleisten wollen. In diesem Kurs untersuchen wir Faktoren der Benutzerfreundlichkeit von Sicherheit und Datenschutz anhand einer forschungsbasierten, projektorientierten Untersuchung. Wir behandeln Kernbereiche der Sicherheit und Privatsphäre sowie Methoden der Mensch-Computer-Interaktion (HCI), mit denen die Benutzerfreundlichkeit von Sicherheit und Privatsphäre gemessen werden kann. Von den Studierenden wird erwartet, dass sie Aufgaben zu diesem Thema bearbeiten und ein forschungsbasiertes Projekt abschließen. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Wie schreibt man eine wissenschaftliche Forschungsarbeit? • Wie führt man eine unabhängige wissenschaftliche Studie im Bereich Human Factors in Sicherheit und Datenschutz durch? • Methodik: qualitative, quantitative und „gemischte" Methoden. • Einführung in die Forschung und wissenschaftliche Ethik • Einführung in die Literaturrecherche • Präsentation wissenschaftlicher Ergebnisse auf einer Konferenz *Contents of the course Human Factors in Security and Privacy:* Humans are important actors in security. A provable secure system is only useful if it can be actually used by users, and system designers need to account for human behavior if they wish to have both security and usability. In this class, we will examine factors of usability of security and privacy through a research-based, project-driven examination. We will cover core areas of security and privacy, as well as cover methods in human interaction (HCI) that can be used to measure the usability of security and privacy. Students are expected to complete problem sets on the topic and complete a research-based project. The course includes the following contents: • How to write a scientific research paper? • How to conduct an independent scientific study in the field of Human Factors in Security and Privacy? • Methodology: qualitative, quantitative and "mixed" methods. • Introduction to research and scientific ethics • Introduction to literature research • Presenting scientific results at a conference

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden sind in der Lage

- Forschungsmethoden im Bereich der menschlichen Faktoren in Bezug auf nutzbare Sicherheit und Privatsphäre zu verstehen und anzuwenden.
- relevante Hypothesen und Forschungsfragen im Bereich der nutzbaren Sicherheit und Privatsphäre zu entwickeln.
- eine Forschungsstudie zu entwerfen, durchzuführen und die Ergebnisse zu analysieren.
- Ergebnisse unter Verwendung der besten Praktiken des wissenschaftlichen Schreibens zu beschreiben, zu untermauern und effektiv zu argumentieren.
- ethische Fragen im Zusammenhang mit der Forschung zu menschlichen Faktoren im Bereich Sicherheit und Datenschutz zu verstehen.
- die wichtigsten Themen und Schwerpunkte der nutzbaren Sicherheit und des Datenschutzes zu verstehen.
- Forschungsergebnisse in der Veranstaltung zu präsentieren.

Students will be able to

- understand and apply research methods in human factors in usable security and privacy.
- develop relevant hypotheses and research questions in the space of usable security and privacy.
- design and deploy a research study and analyze the results.
- describe, support, and effectively argue a result using the best practices of scientific writing.
- understand ethical issues related to human factors research in security and privacy.
- understand the major topics and themes of usable security and privacy.
- present research results in class.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

<table>
<tr><td>7</td><td>Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:
<table>
<tr><th>zu</th><th>Form</th><th>Dauer bzw. Umfang</th><th>SL / QT</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte</td><td></td><td>SL</td></tr>
</table>
<table>
<tr><th>zu</th><th>Type of achievement</th><th>Duration or Scope</th><th>SL / QT</th></tr>
<tr><td>a)</td><td>Assignments, course paper or progress reports</td><td></td><td>CA</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>8</td><td>Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:
Bestehen der Studienleistung
Passing of course achievement</td></tr>
<tr><td>9</td><td>Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:
Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.
The credit points are awarded after the module examination was passed.</td></tr>
<tr><td>10</td><td>Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:
Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).
The module is weighted according to the number of credits (factor 1).</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:
Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4</td></tr>
<tr><td>12</td><td>Modulbeauftragte/r / Module coordinator:
Prof. Dr. Yasemin Acar</td></tr>
</table>

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Human Factors in Security and Privacy:* **Methodische Umsetzung** Die Inhalte werden in der Vorlesung vorgestellt und erläutert. Im begleitenden Tutorium werden die Vorlesungsthemen sowohl im Plenum als auch in Kleingruppen vertieft und diskutiert. Darüber hinaus präsentieren und diskutieren die Studierenden ihre Fortschritte bei den Projekten. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Aktuelle zugriffsfreie Forschungspapiere werden in der Veranstaltung bereitgestellt. • Redmiles, Elissa M., Yasemin Acar, Sascha Fahl, and Michelle L. Mazurek. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers. 2017. https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/19227/CS-TR-5055.pdf • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Human Factors in Security and Privacy:* **Implementation Method** The contents are presented and elaborated in the lecture. In the accompanying tutorial, the lecture topics are deepened and discussed both in plenary and in small groups. In addition, students are presenting and discussing their progress on the projects. **Learning Material, Literature** • Current freely available research papers will be provided in the course. • Redmiles, Elissa M., Yasemin Acar, Sascha Fahl, and Michelle L. Mazurek. A summary of survey methodology best practices for security and privacy researchers. 2017. https://drum.lib.umd.edu/bitstream/handle/1903/19227/CS-TR-5055.pdf • Additional literature will be announced in the course.

Model-Based Systems Engineering			
Model-Based Systems Engineering			
Modulnummer / Module number: M.079.4062	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehrform	Kontaktzeit (h)	Selbststudium (h)	Status (P/WP)	Gruppengröße (TN)
a)	L.079.05810 Model-Based Systems Engineering	V3 Ü2	75	105	P	70/35

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05810 Model-Based Systems Engineering	L3 Ex2	75	105	C	70/35

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:
Empfohlene Vorkenntnisse
Grundlagen des Systems Engineerings

none

Prerequisites of course Model-Based Systems Engineering:
Recommended Proficiencies
Basics of Systems Engineerings

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:* Durch den technischen Wandel von mechatronischen zu intelligenten technischen Systemen (ITS) stehen Unternehmen und Entwicklungsteams vor vielen Herausforderungen. Wesentlich ist die Zunahme der Komplexität und Vernetzung von Systemen (Produkte). Bestehende Ansätze in der Produktentstehung können diese nicht effizient und effektiv abdecken. Model-based Systems Engineering (MBSE) stellt sich hierfür als vielversprechender Ansatz auf, die Herausforderungen zu lösen. MBSE sieht sich als Weiterentwicklung des Systems Engineerings und baut auf dessen Grundlagen auf. Dabei wird das Systems Engineering, welches primär auf Dokumenten basiert durch die Einführung von Modellen erweitert. Die Veranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Intelligente technische Systeme • Model-based Systems Engineering 101 • Systems Modelling Grundlagen • Sprachen und Methoden - CONSENS, SysML • Systems Architecting • IT-Tools für MBSE *Contents of the course Model-Based Systems Engineering:* Due to the technical change from mechatronic to intelligent technical systems (ITS), companies and development teams are facing many challenges. A key factor is the increase in complexity and networking of systems (products). Existing approaches in product development cannot cover this efficiently and effectively. Model-based Systems Engineering (MBSE) presents itself as a promising approach to solve these challenges. MBSE sees itself as a further development of systems engineering and builds on its foundations. Systems engineering, which is primarily based on documents, is extended by the introduction of models. The course includes the following content: • Intelligent Engineering Systems • Model-based Systems Engineering 101 • Systems Modeling Fundamentals • Languages and Methods - CONSENS, SysML • Systems Architecting • IT Tools for MBSE
5	**Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:** Die Studierenden • erwerben durch die Veranstaltung ein solides Verständnis über Model-Based System Engineering, • kennen verschiedene Methoden, Sprachen und Werkzeuge, • können das erlangte Wissen anwenden • können eigenständig Lösungen erarbeiten und gegenüber den Dozenten kommunizieren.

The students

- acquire a solid understanding of Model-Based System Engineering
- know different methods, languages, and tools
- are able to apply the knowledge they have gained
- are able to work out solutions independently and communicate them to the lecturers.

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

keine

none

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist.

The credit points are awarded after the module examination was passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1).

The module is weighted according to the number of credits (factor 1).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4, Master's Program Electrical Systems Engineering v2 (ESEMA v2), Master's Program Electrical Systems Engineering v3 (ESEMA v3)

12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Model-Based Systems Engineering:* **Methodische Umsetzung** Das Modul besteht aus zwei Teilen 1. Vorlesung mit Folien (Lecture): Grundlagen und Konzepte werden in der Vorlesung erklärt und anhand von Beispielen veranschaulicht. 2. Übungen (Tutorial): In der Übung erfolgt ein Wissenstransfer und Anwendung der Konzepte. Die Übungen sind in Eigenarbeit vorzubereiten. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in industrial practice. Heinz Nixdorf Institute, University Paderborn, 2013, Unter: https://www.hni.uni-paderborn.de/en/spe/systemsengineering/ • Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O.; Stark, R.;Gausemeier, J. (Eds): Engineering in Germany – Status quo in Business and Science. Federal Ministry of Education and Research, 2021 Unter: https://www.advanced-systems-engineering.de/#studie • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben. *Remarks of course Model-Based Systems Engineering:* **Implementation Method** The module consists of two parts 1. lecture with slides: basics and concepts are explained in the lecture and illustrated with examples. 2. exercises (tutorial): In the exercises, knowledge is transferred and the concepts are applied. The exercises have to be prepared by the students themselves. **Learning Material, Literature** • Gausemeier, J.; Dumitrescu, R.; Steffen, D.; Czaja, A.; Wiederkehr, O.; Tschirner, C.: Systems Engineering in industrial practice. Heinz Nixdorf Institute, University Paderborn, 2013, Under: https://www.hni.uni-paderborn.de/en/spe/systemsengineering/ • Dumitrescu, R.; Albers, A.; Riedel, O.; Stark, R.;Gausemeier, J. (Eds): Engineering in Germany – Status quo in Business and Science. Federal Ministry of Education and Research, 2021 Under: https://www.advanced-systems-engineering.de/#studie • Additional literature will be announced in the course.

Software Architecture Design and Recovery			
Software Architecture Design and Recovery			
Modulnummer / Module number: M.079.4094	**Workload (h):** 180	**Leistungspunkte / Credits:** 6	**Turnus / Regular Cycle:** Wintersemester
Sprache / Language: en	**Studiensemester / Semester number:** 1-3	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** WP

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	Lehr-form	Kontakt-zeit (h)	Selbst-studium (h)	Status (P/WP)	Gruppen-größe (TN)
a)	L.079.05708 Software Architecture Design and Recovery	V2 Ü3	75	105	P	30

	Course	form of teachin	contact-time (h)	self-study (h)	status (C/CE)	group size (TN)
a)	L.079.05708 Software Architecture Design and Recovery	L2 Ex3	75	105	C	30

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

keine

none

3 **Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:**

keine

Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Software Architecture Design and Recovery:
Empfohlene Vorkenntnisse
Ein gutes Verständnis von Java und den Prinzipien objektorientierter Programmierung ist hilfreich.

none

Prerequisites of course Software Architecture Design and Recovery:
Recommended Proficiencies
A good understanding of Java and the principle of object-oriented programming is helpful.

4	**Inhalte / Contents:** *Inhalte der Lehrveranstaltung Software Architecture Design and Recovery:* Softwarearchitektur beschäftigt sich mit den wichtigsten Entwurfsentscheidungen, die großen Einfluss auf die Qualitätsmerkmale eines Softwaresystems wie Wartbarkeit, Leistung und Sicherheit haben. In dieser Lehrveranstaltung diskutieren wir die Grundlagen der Disziplin Softwarearchitektur sowie Methoden zur Wiederherstellung einer Softwarearchitektur aus existierenden Software-Repositorien. Die Lehrveranstaltung umfasst folgende Inhalte: • Arten von Entwurfsentscheidungen • Architekturkomponenten und Wiederherstellung • Architekturlösungen beispielsweise Muster, Taktiken und Technologien • Architekturdokumentation • Software-Repositorien • Architekturwissen • Architekturprozesse Außerdem werden die folgenden Forschungsmethoden in der Lehrveranstaltung diskutiert und verwendet: • Grounded-theory. • Fallstudien. *Contents of the course Software Architecture Design and Recovery:* Software architecture is concerned with the principal design decisions of a software system. These decisions have significant impact on the system's quality, such as maintainability, performance and security. This course will explain fundamental concepts of the software architecture field, as well as how to apply techniques to recover design decisions from existing software repositories. The course includes the following topics from software architecture field: • Types of design decisions. • Architectural components and recovery. • Architectural solutions such as patterns, tactics and technologies. • Architectural documentation. • Software repositories. • Architectural knowledge. • Design processes. Furthermore, the course discusses and applies common research methods: • Grounded theory • Case studies

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Die Studierenden können

- Konzepte der Softwarearchitekturdisziplin erklären und diskutieren
- große Softwaresysteme für Entwurfsentscheidungen analysieren
- Architekturprozesse zum Treffen von Entwurfsentscheidungen ausführen
- übliche Forschungsmethode auf Probleme der Softwarearchitektur umsetzen
- Forschungsergebnisse zusammenfassen und berichten
- in Gruppen arbeiten
- einen fachlichen Vortrag halten

Students will be able to

- clarify and discuss main concepts in the software architecture field, such as architectural solutions, components, and design processes
- analyze large-scale software systems for architectural design decisions
- execute design processes to make design decisions
- apply common research methods on software architecture problems
- summarize and report research results in a scientific format
- work in teams
- present their results to the audience

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a)	Klausur, mündliche Prüfung oder Referat	90-120 min, 30-45 min oder 30 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a)	Written or oral examination or report	90-120 min or 30-45 min or 30 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Übungsaufgaben, schriftliche Ausarbeitung oder Fortschrittsberichte		SL

zu	Type of achievement	Duration or Scope	SL / QT
a)	Assignments, course paper or progress reports		CA

8	**Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:** Bestehen der Studienleistung Passing of course achievement
9	**Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:** Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn die Modulabschlussprüfung bestanden ist. The credit points are awarded after the module examination was passed.
10	**Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:** Das Modul wird mit der Anzahl seiner Leistungspunkte gewichtet (Faktor 1). The module is weighted according to the number of credits (factor 1).
11	**Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:** Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch, Masterstudiengang Informatik v4
12	**Modulbeauftragte/r / Module coordinator:** Dr. Mohamed Aboubakr Mohamed Soliman
13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** *Hinweise der Lehrveranstaltung Software Architecture Design and Recovery:* **Methodische Umsetzung** Vorlesung und Gruppenarbeit mit großen Open-Source-Softwaresysteme sowie Präsentationen. In den Vorlesungen werden Konzepte der Disziplin Softwarearchitektur diskutiert und in einer Reihe von Gruppenarbeiten auf echte Open-Source-Softwaresysteme angewandt. **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Bass, L., Clements, P., Kazman, R. (2012). Software Architecture in Practice. 3rd Edition, Addison-Wesley Professional. • Kruchten P, Lago P, van Vliet H (2006) Building Up and Reasoning About Architectural Knowledge. In: Quality of Software Architectures, Springer Berlin Heidelberg. • Weitere Literatur wird in der Veranstaltung bekanntgegeben.

Remarks of course Software Architecture Design and Recovery:
Implementation Method
Lectures and group assignments on large open-source software systems, as well as presentations. Concepts are discussed in the lectures and applied using a set of group assignments on real open-source software systems.
Learning Material, Literature

- Bass, L., Clements, P., Kazman, R. (2012). Software Architecture in Practice. 3rd Edition, Addison-Wesley Professional.
- Kruchten P, Lago P, van Vliet H (2006) Building Up and Reasoning About Architectural Knowledge. In: Quality of Software Architectures, Springer Berlin Heidelberg.
- Additional literature will be announced in the course.

4 Abschlussarbeit

Abschlussarbeit			
Final Degree Module			
Modulnummer / Module number: A.048.17002	**Workload (h):** 900	**Leistungspunkte / Credits:** 30	**Turnus / Regular Cycle:** Sommer- / Wintersemester
Sprache / Language: de / en	**Studiensemester / Semester number:** 4. Semester	**Dauer (in Sem.) / Duration (in sem.):** 1	**Modulstatus (P/WP) Module status (C/CE)** P

1 **Modulstruktur / Module structure:**

	Lehrveranstaltung	**Lehr-form**	**Kontakt-zeit (h)**	**Selbst-studium (h)**	**Status (P/WP)**	**Gruppen-größe (TN)**
a)	Arbeitsplan (CEMA)		15	135	P	
b)	Masterarbeit (CE)		30	720	P	

	Course	**form of teachin**	**contact-time (h)**	**self-study (h)**	**status (C/CE)**	**group size (TN)**
a)	Working Plan (CEMA)		15	135	C	
b)	Master Thesis (CE)		30	720	C	

2 **Wahlmöglichkeiten innerhalb des Moduls / Options within the module:**

Keine

None

3	**Teilnahmevoraussetzungen / Admission requierements:** Das Modul Abschlussarbeit kann erst begonnen werden, wenn Module im Umfang von 45 Leistungspunkten erfolgreich abgeschlossen sind. Im Fall der Einschreibung mit Auflagen muss zudem das Bestehen der zugehörigen Prüfungen nachgewiesen werden. *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Arbeitsplan (CEMA):* Empfohlen: Je nach gewähltem Thema Kenntnisse aus dem gewählten Vertiefungsmodul. *Teilnahmevoraussetzungen der Lehrveranstaltung Masterarbeit (CE):* Empohlen: Je nach gewähltem Thema Kenntnisse aus dem gewählten Vertiefungsgebiet. The final thesis module can only be started when modules amounting to 45 credit points have been successfully completed. In the case of enrollment with conditions, the passing of the associated examinations must also be proven. *Prerequisites of course Arbeitsplan (CEMA):* Recommended: Depending on the chosen topic, knowledge from the chosen specialization module. *Prerequisites of course Masterarbeit (CE):* Recommended: Depending on the topic chosen, knowledge of the chosen area of specialization.
4	**Inhalte / Contents:** **Arbeitsplan:** Nach Themenabsprache mit dem Betreuer erfolgt eine erste grobe Einarbeitung. Auf dieser Grundlage und einer ersten Literaturrecherche ist durch den Studierenden ein Arbeitsplan vorzulegen, der die zu erzielenden Ergebnisse samt Meilensteine für die Arbeit dokumentiert. **Masterarbeit:** In der Masterarbeit wird ein Problem nach wissenschaftlichen Methoden innerhalb einer bestimmten Frist bearbeitet. Die Arbeit ist thematisch in das wissenschaftliche Umfeld der Fakultät eingebettet und kann die vielschichtigen engen Kooperationen mit Betrieben und der Industrie nutzen. Neben Praxisbezug stellt eine Masterarbeit insbesondere die Eignung zur methodisch-wissenschaftlichen Arbeit sicher. **Work plan:** After the topic has been agreed upon with the supervisor, an initial rough draft is made. On this basis and a first literature research, the student has to submit a work plan documenting the results to be achieved including milestones for the work. **Master thesis:** In the master thesis a problem is worked on according to scientific methods within a certain period of time. The thesis is thematically embedded in the scientific environment of the faculty and can make use of the multifaceted close cooperation with companies and industry. In addition to practical relevance, a master's thesis ensures in particular the suitability for methodical scientific work.

5 **Lernergebnisse und Kompetenzen / Learning outcomes and competences:**

Im Rahmen ihrer Abschlussarbeit bearbeiten die Studierenden ein Problem nach wissenschaftlichen Methoden innerhalb einer bestimmten Frist. Die im Zuge des Studiums erworbenen fachlichmethodischen sowie fachübergreifenden Kompetenzen sollen dazu entsprechend eingesetzt werden. Dazu gehören insbesondere auch die Strukturierung und Planung der einzelnen Arbeitsschritte sowie die Präsentation der Ergebnisse nach Abschluss der Arbeit.
Nichtkognitive Kompetenzen

- Einsatz und Engagement
- Lernkompetenz
- Lernmotivation
- Motivationale und volitionale Fähigkeiten
- Schreib- und Lesekompetenz (wissenschaftlich)
- Selbststeuerungskompetenz

Within the framework of their final thesis, students work on a problem according to scientific methods within a certain period of time. The subject-specific methodological and interdisciplinary competences acquired in the course of the studies are to be applied accordingly. This includes in particular the structuring and planning of the individual work steps as well as the presentation of the results after completion of the work.
Non-cognitive competencies

- Commitment and engagement
- Learning competence
- Motivation to learn
- Motivational and volitional skills
- Writing and reading skills (academic)
- Self-direction skills

6 **Prüfungsleistung / Assessments:**

☒Modulabschlussprüfung (MAP) □Modulprüfung (MP) □Modulteilprüfungen (MTP)

zu	**Prüfungsform**	**Dauer bzw. Umfang**	**Gewichtung für die Modulnote**
a) - b)	Master Arbeit inkl. Abschlusspräsentation	max. 120 DIN A4-Seiten inkl. 45-60 min	100%

☒Final module exam (MAP) □Module exam (MP) □Partial module exams (MTP)

zu	**Type of examination**	**Duration or scope**	**Weighting for the module grade**
a) - b)	Masters Thesis incl. final presentation	max. 120 DIN A4-Pages incl. 45-60 min	100%

7 **Studienleistung, qualifizierte Teilnahme / Study Achievement:**

zu	**Form**	**Dauer bzw. Umfang**	**SL / QT**
a)	Arbeitsplan	150h	QT
b)			

zu	**Type of achievement**	**Duration or Scope**	**SL / QT**
a)	Working Plan	150h	QP
b)			

8 **Voraussetzungen für die Teilnahme an Prüfungen / Prerequisites for participation in examinations:**

Keine

None

9 **Voraussetzungen für die Vergabe von Leistungspunkten / Prerequisites for assigning credits:**

Die Vergabe von Credits erfolgt, wenn der Arbeitsplan nachgewiesn und die Masterarbeit bestanden wurde.

Credits are awarded when the work plan has been verified and the master's thesis has been passed.

10 **Gewichtung für Gesamtnote / Weighing for overall grade:**

Das Modul wird mit der doppelten Anzahl seiner Credits gewichtet (Faktor 2).

The module is weighted according to the twice the number of its credits (factor 2).

11 **Verwendung des Moduls in anderen Studiengängen oder Studiengangversionen / Reuse in degree courses or degree course versions:**

Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), Masterstudiengang Computer Engineering v4 (CEMA v4), englisch

12 **Modulbeauftragte/r / Module coordinator:**

Dr.-Ing. Carsten Balewski

13	**Sonstige Hinweise / Other Notes:** **Lernmaterialien, Literaturangaben** • Arbeitsplan: Je nach gewähltem Thema in Absprache mit dem Betreuer. • Masterarbeit: Je nach gewähltem Thema in Absprache mit dem Betreuer. **Methodische Umsetzung** • Arbeitsplan: Direkte Absprache mit Betreuer. • Masterarbeit: Selbständiges Arbeiten unterstützt durch individuelle Betreuung. **Learning Materials, References** • Work plan: Depending on the chosen topic in consultation with the supervisor. • Master thesis: Depending on the chosen topic in consultation with the supervisor. **Methodological implementation** • Work plan: Direct consultation with supervisor. • Master thesis: Independent work supported by individual supervision.

5 Übersicht des Modulangebotes im Wintersemester

- A.048.17002 Abschlussarbeit 796
- M.048.210XX Statistische Signale 14
- M.048.22006 Leistungselektronik 374
- M.048.22007 Mensch-Haus-Umwelt 382
- M.048.22014 Energy Transition 364
- M.048.22016 Leistungselektronische Stromversorgungen 378
- M.048.22019 Modellierung von Energiesystemen 386
- M.048.22021 Geregelte Netzumrichter 370
- M.048.23019 Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel 424
- M.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies 414
- M.048.24006 Elektromagnetische Feldsimulation 440
- M.048.24007 Hochfrequenztechnik 451
- M.048.24010 Optimale und Adaptive Filter 464
- M.048.24013 Feldberechnung mit der Randelementmethode 446
- M.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops 470
- M.048.24023 Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik 429
- M.048.25019 Schnelle integrierte Schaltungen für die leitungsgebundene Kommunikation . 499
- M.048.26007 Fundamentals of Optics 509
- M.048.26010 Advanced Quantum Optics 513
- M.048.26012 Modern Semiconductor Lasers 517
- M.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices 545
- M.048.27022 Technische Akustik 569
- M.048.27031 Optimization-Based Control Methods 565
- M.048.40003 Einführung in die Hochfrequenztechnik 239
- M.048.90107 Analysis and Design of Electronic Circuits 23
- M.048.92001 Advanced System Theory 549
- M.048.92002 High Frequency Engineering 243
- M.048.92006 Advanced Topics in Robotics 394
- M.048.92014 Topics in Signal Processing 475
- M.048.92021 Optical Communication C 530
- M.048.92027 VLSI-Testing 504
- M.079.01290 Projektgruppe 28
- M.079.4005 Advanced Computer Architecture 9
- M.079.4006 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures 683
- M.079.4032 Machine Learning 1 667
- M.079.4043 Reconfigurable Computing 631
- M.079.4054 Foundations of Knowledge Graphs 663
- M.079.4059 Introduction to Quantum Computation 712

- M.079.4062 Model-Based Systems Engineering 787
- M.079.4067 Real World Crypto Engineering 732
- M.079.4070 Designing code analyses for large-scale software systems 1 771
- M.079.4075 Data Science in Industrial Applications 765
- M.079.4087 Privacy and Technology 724
- M.079.4088 Machine Learning for Biometrics 716
- M.079.4090 Quantum Information 617
- M.079.4092 Human Factors in Security and Privacy 782
- M.079.4094 Software Architecture Design and Recovery 791
- M.079.4203 Concepts of Computer Science 746
- M.079.4204 Data-Driven Engineering 751
- M.104.7420 Datengetriebenes Ressourcenmanagement 356
- M.104.7422 Circular Economy 352

6 Übersicht des Modulangebotes im Sommersemester

- A.048.17002 Abschlussarbeit 796
- M.048.22003 Bauelemente der Leistungselektronik 348
- M.048.22013 Solar Electric Energy Systems 389
- M.048.22018 Energiesystemtechnik 361
- M.048.23012 Statistical and Machine Learning 418
- M.048.23019 Technische kognitive Systeme - Ausgewählte Kapitel 424
- M.048.24001 Digitale Sprachsignalverarbeitung 434
- M.048.24006 Elektromagnetische Feldsimulation 440
- M.048.24013 Feldberechnung mit der Randelementmethode 446
- M.048.24019 Optical Waveguide Theory 459
- M.048.24021 Information Theory 455
- M.048.24022 Wireless Communications 478
- M.048.24023 Ausgewählte Kapitel der theoretischen Elektrotechnik 429
- M.048.25008 Analoge CMOS-Schaltkreise 486
- M.048.25017 Integrierte Schaltungen für die drahtlose Kommunikation 490
- M.048.26007 Fundamentals of Optics 509
- M.048.26010 Advanced Quantum Optics 513
- M.048.26011 Optoelectronics 540
- M.048.27013 Regelung elektrischer Antriebe 557
- M.048.27015 Ultraschallmesstechnik 573
- M.048.27028 Gekoppelte Felder 553
- M.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems 561
- M.048.42941 Wissenschaftliches Arbeiten 33
- M.048.92001 Advanced System Theory 549
- M.048.92008 Digital Image Processing I 399
- M.048.92010 Digital Image Processing II 404
- M.048.92012 Robotics 409
- M.048.92019 Optical Communication A 521
- M.048.92020 Optical Communication B 525
- M.048.92022 Optical Communication D 535
- M.048.92043 Advanced VLSI Design 482
- M.079.01290 Projektgruppe 28
- M.079.4002 Advanced Algorithms 636
- M.079.4009 Algorithms for Complex Virtual Scenes 586
- M.079.4020 Foundations of Cryptography 698
- M.079.4063 Quantum Complexity Theory 728
- M.079.4068 Approximate Computing 626
- M.079.4071 Designing code analyses for large-scale software systems 2 777

- M.079.4072 Quantum Algorithms 609
- M.079.4073 Web Security 741
- M.079.4076 Data-Driven Innovation 756
- M.079.4086 Usable Security and Privacy 736
- M.079.4089 Post-Quantum Cryptography 720
- M.079.4091 Explainable Artificial Intelligence 654
- M.079.4093 Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R 679
- M.079.4095 Multi-Objective Optimisation 675
- M.079.4096 Advanced Networked Systems 4
- M.079.4101 Data Science for Software Engineering 761
- M.079.4210 Foundational Methods for Knowledge Representation and Reasoning 659
- M.079.4211 Hardware Security 703

7 Übersicht der Modulangebote in englischer Sprache

- A.048.17002 Final Degree Module 796
- M.048.210XX Statistical Signals 14
- M.048.22002 Intelligent Control of Electricity Grids ..... **??**
- M.048.22003 Power Electronic Devices 348
- M.048.22006 Power Electronics 374
- M.048.22013 Solar Electric Energy Systems 389
- M.048.22014 Energy Transition 364
- M.048.22020 Design of Energy Transition Scenarios ..... **??**
- M.048.23012 Statistical and Machine Learning 418
- M.048.23019 Cognitive Systems Engineering - Special Topics 424
- M.048.23023 Resource-Efficient AI: Architectures and Methodologies 414
- M.048.24001 Digital Speech Signal Processing 434
- M.048.24007 High Frequency Engineering 451
- M.048.24010 Optimal and Adaptive Filters 464
- M.048.24018 Numerical Simulations with the Discontinuous Galerkin Time Domain Method . **??**
- M.048.24019 Optical Waveguide Theory 459
- M.048.24020 Theory and Design of Phase-locked Loops 470
- M.048.24021 Information Theory 455
- M.048.24022 Wireless Communications 478
- M.048.25008 Analog CMOS ICs 486
- M.048.25015 Radio Frequency Power Amplifiers ..... **??**
- M.048.25017 Integrated Circuits for Wireless Communications 490
- M.048.25019 Fast Integrated Circuits for Wireline Communications 499
- M.048.26001 High-Frequency Electronics ..... **??**
- M.048.26007 Fundamentals of Optics 509
- M.048.26010 Advanced Quantum Optics 513
- M.048.26011 Optoelectronics 540
- M.048.26012 Modern Semiconductor Lasers 517
- M.048.26013 Theory and Design of Integrated Photonic Devices 545
- M.048.27013 Control of Electric Drives 557
- M.048.27030 Topics in Advanced Control ..... **??**
- M.048.27031 Optimization-Based Control Methods 565
- M.048.27032 Nonlinear control of autonomous and robotic systems 561
- M.048.90107 Analysis and Design of Electronic Circuits 23
- M.048.92001 Advanced System Theory 549
- M.048.92002 High Frequency Engineering 243
- M.048.92006 Advanced Topics in Robotics 394
- M.048.92007 Algorithms and Tools for Test and Diagnosis of Systems on a Chip ..... **??**

- M.048.92008 Digital Image Processing I 399
- M.048.92010 Digital Image Processing II 404
- M.048.92012 Robotics 409
- M.048.92014 Topics in Signal Processing 475
- M.048.92019 Optical Communication A 521
- M.048.92020 Optical Communication B 525
- M.048.92021 Optical Communication C 530
- M.048.92022 Optical Communication D 535
- M.048.92027 VLSI-Testing 504
- M.048.92030 Topics in Pattern Recognition and Machine Learning ..... **??**
- M.048.92037 Advanced Control ..... **??**
- M.048.92043 Advanced VLSI Design 482
- M.048.92045 Reinforcement Learning ..... **??**
- M.079.01290 Project Group 28
- M.079.4002 Advanced Algorithms 636
- M.079.4005 Advanced Computer Architecture 9
- M.079.4006 Advanced Distributed Algorithms and Data Structures 683
- M.079.4009 Algorithms for Complex Virtual Scenes 586
- M.079.4020 Foundations of Cryptography 698
- M.079.4032 Machine Learning 1 667
- M.079.4043 Reconfigurable Computing 631
- M.079.4054 Foundations of Knowledge Graphs 663
- M.079.4059 Introduction to Quantum Computation 712
- M.079.4062 Model-Based Systems Engineering 787
- M.079.4063 Quantum Complexity Theory 728
- M.079.4067 Real World Crypto Engineering 732
- M.079.4068 Approximate Computing 626
- M.079.4070 Designing code analyses for large-scale software systems 1 771
- M.079.4071 Designing code analyses for large-scale software systems 2 777
- M.079.4072 Quantum Algorithms 609
- M.079.4073 Web Security 741
- M.079.4075 Data Science in Industrial Applications 765
- M.079.4076 Data-Driven Innovation 756
- M.079.4086 Usable Security and Privacy 736
- M.079.4087 Privacy and Technology 724
- M.079.4088 Machine Learning for Biometrics 716
- M.079.4089 Post-Quantum Cryptography 720
- M.079.4090 Quantum Information 617
- M.079.4091 Explainable Artificial Intelligence 654
- M.079.4092 Human Factors in Security and Privacy 782
- M.079.4093 Unsupervised Learning and Evolutionary Optimisation Using R 679
- M.079.4094 Software Architecture Design and Recovery 791
- M.079.4095 Multi-Objective Optimisation 675
- M.079.4096 Advanced Networked Systems 4
- M.079.4101 Data Science for Software Engineering 761
- M.079.4203 Concepts of Computer Science 746
- M.079.4204 Data-Driven Engineering 751

- M.079.4210 Foundational Methods for Knowledge Representation and Reasoning 659
- M.079.4211 Hardware Security 703

Erzeugt am 8. September 2026 um 12:16.