

Module description

for the degree programme

Master of Science Information
and Communication Technology

(Version of examination regulation: 20222)

for the summer term 2025

Table of contents

Research project (1992).....	9
Master's module (1999).....	11
Specialization Media Processing Systems: Compulsory Modules	
Hardware-software-co-design (43490).....	14
Embedded Systems (44411).....	16
Communication Electronics (92731).....	19
Design of Integrated Circuits I (96591).....	22
Specialization Networks and Digital Communication: Compulsory Modules	
Mobile communications (43141).....	25
Communication Systems (43955).....	27
Quality of service in communication systems (44362).....	29
Information theory and coding (93601).....	31
Specialization Media Processing Systems: Compulsory Modules	
Communication Systems (43955).....	36
Pattern recognition (44130).....	38
Image and video compression (96311).....	41
Statistical signal processing (96430).....	43
Specialization Embedded Systems: Compulsory elective module EEI	
Satellite communication (43460).....	47
Modelling and simulation of circuits and systems (43911).....	51
Test integrierter Schaltungen (44000).....	55
Machine learning in signal processing (48440).....	59
Information theory and coding (93601).....	61
Architectures for digital signal processing (96010).....	65
Medical electronics (96030).....	67
Digital electronic systems (96090).....	69
Integrated navigation systems (96101).....	71
Design of mixed-signal circuits (96200).....	73
Analogue electronic systems (96500).....	75
Specialization Networks and Digital Communication: Compulsory elective module EEI	
Equalisation and adaptive systems for digital communications (43400).....	78
Transmission and detection for advanced mobile communications (43420).....	81
Satellite communication (43460).....	84
Machine learning in signal processing (48440).....	88
Optical communication systems (92400).....	90
Communications electronics 1 (92730).....	92
Medical electronics (96030).....	95
Integrierte Schaltungen für Funkanwendungen (96260).....	97
Channel coding (96270).....	98
MIMO communication systems (96300).....	102
Image, video and multidimensional signal processing (96312).....	104
Circuits and Systems of Transmission Techniques (96410).....	106
Statistical signal processing (96430).....	108
Communication structures (96801).....	111
Advanced topics in perceptual audio coding (96875).....	113
Advanced communication networks (151664).....	115
Machine learning in communications (668129).....	119
Specialization Media Processing Systems: Compulsory elective module EEI	
Mobile communications (43141).....	121
Machine learning in signal processing (48440).....	123

Information theory and coding (93601).....	125
Digital electronic systems (96090).....	129
Integrated navigation systems (96101).....	131
Channel coding (96270).....	133
Image, video and multidimensional signal processing (96312).....	137
Advanced topics in perceptual audio coding (96875).....	139
Speech enhancement (96880).....	141
Advanced communication networks (151664).....	143
Signal analysis (250058).....	147
Transforms in signal processing (498723).....	149
Music processing - synthesis (502007).....	151
Speech enhancement (oral examination) (788996).....	153
Auditory models (947709).....	155
Music processing - Analysis (302148).....	156
Machine learning in communications (668129).....	159
Radar signal processing (44400).....	160
Virtual vision (96314).....	163
Specialization Embedded Systems: Compulsory elective module INF	
Reconfigurable computing (43195).....	166
Communication systems (43950).....	169
Foundations of compiler construction (44240).....	171
Swarm Intelligence (44500).....	179
Simulation and modelling I (97090).....	181
Operating systems (lecture with exercises) (150033).....	184
CPU Design with VHDL (Focus on CPUs) (169383).....	187
Real-time systems with extended exercises (179490).....	188
CPU Design with VHDL (CPU) (211243).....	193
Computer architecture (333815).....	195
CPU Design with VHDL (Focus on VHDL) (436348).....	197
Lecture and tutorial: Middleware - Cloud computing (557235).....	199
Real-time systems (707303).....	202
Parallel systems with extended exercises (740665).....	207
Computer architecture (798810).....	210
Operating systems (lectures with extend exercises) (820947).....	212
Real-time systems 2 - dependable real-time systems (939179).....	215
Distributed systems (lecture with extended exercises) (743260).....	218
Lecture and tutorial: Distributed systems (649073).....	221
Introduction to modern cryptography (93015).....	224
Dependable real-time systems (lecture with exercises) (876012).....	226
Parallel systems (43510).....	229
Computer vision (713618).....	232
Specialization Networks and Digital Communication: Compulsory elective module INF	
Pattern recognition (44130).....	235
Introduction to modern cryptography (93015).....	238
Simulation and modelling I (97090).....	240
Concurrent systems (554695).....	243
Advanced networking LEx (869547).....	244
Deep learning (901895).....	246
Approximate computing (965820).....	248
Cyber Security for Smart Grids (93069).....	250
Specialization Media Processing Systems: Compulsory elective module INF	
Scientific visualization (43722).....	252
Pattern analysis (44120).....	254

Real-time systems with extended exercises (179490).....	256
Hardware-software-co-design (Lecture with extended exercises) (292952).....	261
Multimedia security (330467).....	265
Hardware-software-co-design (502509).....	267
Real-time systems (707303).....	270
Real-time systems 2 - dependable real-time systems (939179).....	275
eBusiness technologies and evolutionary information systems (47576).....	278
Computer graphics (43822).....	281
Quality of service in communication systems (44362).....	284
Computer Graphics Deluxe (43374).....	286
Elective modules from EEI and Computer Science	
Knowledge discovery in databases with tutorial (43961).....	290
Digital communications (47800).....	293
Scientific visualization (43722).....	295
Image, video and multidimensional signal processing (96312).....	297
Communications electronics 1 (92730).....	299
Communication structures (96801).....	302
Medical electronics (96030).....	304
MIMO communication systems (96300).....	306
Radar, RFID and wireless sensor systems (RWS) (96316).....	308
Control engineering A (Foundations) (92650).....	310
Lecture, tutorial and laboratory: Virtual machines (462793).....	312
Lecture and tutorial: Virtual machines (202041).....	314
Hardware-software-co-design (Lecture with extended exercises) (292952).....	316
Advanced forensic computing (393750).....	320
Cyber-physical systems (451696).....	321
CPU Design with VHDL (Focus on VHDL) (436348).....	323
Advanced networking LEx (869547).....	325
Approximate computing (965820).....	327
Deep learning (901895).....	329
Artificial intelligence I (894856).....	331
Machine learning in communications (668129).....	333
Lecture and advanced tutorial: Middleware - Cloud computing (722831).....	334
Satellite communication (43460).....	337
Modelling and simulation of circuits and systems (43911).....	341
Test integrierter Schaltungen (44000).....	345
Machine learning in signal processing (48440).....	349
Information theory and coding (93601).....	351
Architectures for digital signal processing (96010).....	355
Digital electronic systems (96090).....	357
Integrated navigation systems (96101).....	359
Design of mixed-signal circuits (96200).....	361
Analogue electronic systems (96500).....	363
Reconfigurable computing (43195).....	365
Communication systems (43950).....	368
Foundations of compiler construction (44240).....	370
Swarm Intelligence (44500).....	378
Simulation and modelling I (97090).....	380
Operating systems (lecture with exercises) (150033).....	383
CPU Design with VHDL (Focus on CPUs) (169383).....	386
Real-time systems with extended exercises (179490).....	387
Computer architecture (333815).....	392
Programming and architecture of computer clusters (399289).....	394

Lecture and tutorial: Middleware - Cloud computing (557235).....	395
Real-time systems (707303).....	398
Parallel systems with extended exercises (740665).....	403
Computer architecture (798810).....	406
Operating systems (lectures with extend exercises) (820947).....	408
Real-time systems 2 - dependable real-time systems (939179).....	411
Distributed systems (lecture with extended exercises) (743260).....	414
Equalisation and adaptive systems for digital communications (43400).....	417
Transmission and detection for advanced mobile communications (43420).....	420
Optical communication systems (92400).....	423
Integrierte Schaltungen für Funkanwendungen (96260).....	425
Channel coding (96270).....	426
Circuits and Systems of Transmission Techniques (96410).....	430
Statistical signal processing (96430).....	432
Advanced topics in perceptual audio coding (96875).....	435
Advanced communication networks (151664).....	437
Pattern recognition (44130).....	441
Concurrent systems (554695).....	444
Introduction to modern cryptography (93015).....	445
Mobile communications (43141).....	447
Speech enhancement (96880).....	449
Signal analysis (250058).....	451
Transforms in signal processing (498723).....	453
Music processing - synthesis (502007).....	455
Auditory models (947709).....	457
Music processing - Analysis (302148).....	458
Radar signal processing (44400).....	461
Pattern analysis (44120).....	464
Multimedia security (330467).....	466
Hardware-software-co-design (502509).....	468
Introduction to deep learning (43405).....	471
Heterogeneous computing architectures online (275245).....	473
Communication Systems (43955).....	476
Information visualization (299892).....	478
Security in embedded hardware (172338).....	481
Lecture and tutorial: Automotive communication (716033).....	483
Numerical methods for semiconductor components (92503).....	485
Numerics for engineers II (64631).....	486
Molecular communications (454183).....	487
Advanced topics in deep learning (42800).....	489
Embedded Systems (44411).....	491
Communication Electronics (92731).....	494
Design of Integrated Circuits I (96591).....	497
Image and video compression (96311).....	499
Quality of service in communication systems (44362).....	501
Dependable real-time systems (lecture with exercises) (876012).....	503
Virtual vision (96314).....	506
Image and video compression (96310).....	508
Introduction to machine learning (65718).....	511
Speech and Language Processing (44455).....	514
Deep learning for beginners (93330).....	516
Body area communications (816185).....	518
eBusiness technologies and evolutionary information systems (47576).....	520

Cyber Security for Smart Grids (93069).....	523
Laboratory course: Mobile communication (97640).....	524
Computer graphics (43822).....	527
Audio processing for the Internet of Things (44522).....	530
Forensic computing (lecture with tutorial) (792501).....	532
Applied information security (93872).....	534
Speech and Language Processing (44455).....	536
Reconfigurable computing (43190).....	538
Computational neurotechnology / Numerical neurotechnology (44200).....	541
Fundamentals in anatomy and physiology for engineers (47664).....	543
Computer Graphics Deluxe (43374).....	545
Elective modules from the Faculty of Engineering or Faculty of Sciences	
Knowledge discovery in databases with tutorial (43961).....	549
Multimedia security (330467).....	552
Image, video and multidimensional signal processing (96312).....	554
Experimental physics for EECE I (66000).....	556
Experimental physics for EECE II (66010).....	558
Radar, RFID and wireless sensor systems (RWS) (96316).....	560
Scientific visualization (43722).....	562
Human computer interaction (645618).....	564
Introduction to deep learning (43405).....	567
Pattern recognition (44130).....	569
Cyber-physical systems (451696).....	572
Auditory models (947709).....	574
Communication Systems (43955).....	575
Information visualization (299892).....	577
Security in embedded hardware (172338).....	580
Reconfigurable computing (43195).....	582
Numerics for engineers II (64631).....	585
Molecular communications (454183).....	586
Advanced topics in deep learning (42800).....	588
Embedded Systems (44411).....	590
Communication Electronics (92731).....	593
Design of Integrated Circuits I (96591).....	596
Image and video compression (96311).....	598
Quality of service in communication systems (44362).....	600
Dependable real-time systems (lecture with exercises) (876012).....	602
Image and video compression (96310).....	605
Circuits and Systems of Transmission Techniques (96410).....	608
Machine learning for engineers I - Introduction to methods and tools (95067).....	610
Introduction to machine learning (65718).....	612
Speech and Language Processing (44455).....	615
Deep learning for beginners (93330).....	617
Body area communications (816185).....	619
Machine learning in signal processing (48440).....	621
Data science survival skills (47677).....	623
Robotics in surgery and diagnostics (47708).....	625
eBusiness technologies and evolutionary information systems (47576).....	627
Cyber Security for Smart Grids (93069).....	630
Laboratory course: Mobile communication (97640).....	631
Computational visual perception (93173).....	634
Audio processing for the Internet of Things (44522).....	636
Forensic computing (lecture with tutorial) (792501).....	638

Applied information security (93872).....	640
Speech and Language Processing (44455).....	642
Reconfigurable computing (43190).....	644
Computational neurotechnology / Numerical neurotechnology (44200).....	647
Fundamentals in anatomy and physiology for engineers (47664).....	649
Surgical Technologies Innovation (44159).....	651
Heterogeneous computing architectures online (275245).....	653
Computer graphics (43822).....	656
Computer Graphics Deluxe (43374).....	659
Clean combustion technology (42917).....	662
Clean combustion technology with laboratory course (42903).....	664
Biomedical signal analysis (23070).....	666
Lab course or Research Project	
Seminar: Human-robot interaction (92507).....	671
Laboratory course: Communications systems design (92356).....	673
Laboratory: Digital ASIC design (97500).....	675
Laborpraktikum Digitale Signalverarbeitung (97520).....	678
Laboratory course: Embedded microcontroller systems (PEMSY) (97530).....	680
Laboratory course: Mobile communication (97640).....	683
Laborpraktikum Multimediakommunikation (97651).....	686
Laboratory course: Systematic design with programmable logic devices (PLD) (97720).....	688
Laboratory architectures for digital signal processing (182405).....	690
Laboratory course: Photonics/Laser technology 1 (242643).....	692
Lab course statistical signal processing (380434).....	694
Laboratory course: High-performance analog and converter design (443121).....	695
Laboratory course: Photonics/Laser technology 2 (508483).....	696
Laboratory on microwave technology 2 (631385).....	698
Lab course machine learning in signal processing (878210).....	700
Audio processing laboratory (894349).....	702
Laboratory course: Mixed-signal design (504311).....	704
Design of SoCs (837918).....	706
Laboratory course: Image and video signal processing on embedded platforms (97525).....	708
Digital communication Lab (93511).....	710
Seminar	
Seminar: Advanced algorithms in medical image processing (47643).....	715
Seminar: Meta learning (47675).....	716
Seminar: Energy informatics (93656).....	717
Seminar: Visual computing (96970).....	719
Hauptseminar Ausgewählte Kapitel der Informationstechnik (Kommunikationselektronik) (97760).....	721
Hauptseminar Ausgewählte Kapitel der Navigation und Identifikation (97770).....	723
Audio processing seminar (330542).....	725
Seminar deep learning (514944).....	727
Systems- and networks-on-a-chip (559050).....	728
Seminar communication systems (B.Sc.) (609624).....	730
Advanced seminar on medical electronics and systems for ambient assisted living AAL (750143).....	732
Selected areas in communications (775681).....	734
Seminar on selected topics of multimedia communications and signal processing (914949).....	737
Seminar communication systems (M.Sc.) (986443).....	739

Joint communications and sensing in wireless systems (92527).....	741
History of computing (47637).....	743
Seminar on Selected Topics in Machine Learning (92374).....	745
Smart City: Technologies and systems (TuS) (92361).....	747
Seminar innovation lab for wearable and ubiquitous computing (767791).....	748
Lab Course Machine Learning and Systems (47574).....	751

1	Module name 1992	Forschungsprojekt (M.Sc. Information and Communication Technology 20222) Research project	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	In the research project, the practice of scientific work in research at an ICT chair or in a company with which there is a cooperation with an ICT chair is conveyed. The focus of the research work can be experimental, theoretical or constructive. Combinations of different focal points are possible.
6	Learning objectives and skills	Through the research-oriented education the student should become familiar with tasks in engineering related research and gain practical experience in scientific work at the university. Students learn about: • Research literature and evaluate its relevance • Establishing and applying criteria for the evaluation of the work carried out • Evaluate and, if necessary, further develop the methodology used • Evaluate and assess results • Implementation of programming work • Writing a written summary of the work performed in the style of a scientific publication
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Pflichtmodul Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Workload 150h, minimum requirement: 6-page report and a presentation of at least 20 minutes
11	Grading procedure	Variable (pass/fail)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	

1	Module name 1999	Mastermodul (M.Sc. Information and Communication Technology 20222) Master's module	30 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	The master's thesis usually deals with a scientific topic from the chosen area of study.
6	Learning objectives and skills	The students - acquire the ability to pursue a scientific problem over a longer period of time and to work independently on the corresponding subject area within a given time limit - develop independent ideas and concepts to solve scientific problems - deal with theories, terminologies, special features, limitations and doctrines of the subject in an in-depth and critical manner and reflect on them - are able to apply and develop appropriate scientific methods independently - also in new and unfamiliar as well as interdisciplinary contexts - and to present the results in a scientifically appropriate form - are able to present subject-related content clearly and appropriately to the target group in writing (and, if necessary, orally) and to defend it argumentatively - expand their planning and structuring skills in the implementation of a thematic project
7	Prerequisites	As a rule, the master's thesis can only be started after all other modules have been passed. Early admission is possible if 80 ECTS from the Master's program are proven.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Pflichtmodul Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (6 Monate) All full-time professors at the Departments of Electrical Engineering and Computer Science are entitled to award the Master's thesis. The master thesis is to be set in such a way that it can be completed within six months with a processing time of approx. 900 hours. The master thesis includes at least one presentation followed by a discussion of the results of the Master's thesis; the date for the final presentation is will be set by the supervising teacher. Length: approx. 60-80 pages, Presentation: approx. 30 min.
11	Grading procedure	Written (100%) Proportion in the calculation of the module grade: 100%.
12	Module frequency	no Module frequency information available!

13	Resit examinations	The exams of this moduls can only be resit once.
14	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
15	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
16	Teaching and examination language	
17	Bibliography	

Specialization Media Processing Systems: Compulsory Modules

1	Module name 43490	Hardware-Software-Co-Design Hardware-software-co-design	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: UE-HSCD (2 SWS) Vorlesung: Hardware-Software-Co-Design (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Muhammad Sabih Tobias Hahn Abrarul Karim Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Zahlreiche Realisierungen eingebetteter Systeme (z.B. Mobiltelefone, Faxgeräte, Industriesteuerungen) zeichnen sich durch kooperierende Hardware- und Softwarekomponenten aus. Die Popularität solcher Realisierungsformen lässt sich begründen durch 1) die steigende Vielfalt und Komplexität heterogener Systeme, 2) die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken und 3) Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Entwurfsmethoden). Zum Beispiel bieten Halbleiterhersteller kostengünstige ASICs an, die einen Mikrocontroller und benutzerspezifische Peripherie und Datenpfade auf einem Chip integrieren. Die Synthese solcher Systeme wirft jedoch eine Reihe neuartiger Entwurfsprobleme auf, insbesondere 1) die Frage der Auswahl von Hardware- und Softwarekomponenten, 2) die Partitionierung einer Spezifikation in Hard- und Software, 3) die automatische Synthese von Interface- und Kommunikationsstrukturen und 4) die Verifikation und Cosimulation. 1) Überblick und Vergleich von Architekturen und Komponenten in Hardware/Software-Systemen. 2) Aufbau eines Compilers und Codeoptimierungsverfahren für Hardware und Software 3) Hardware/Software-Partitionierung (Partitionierung komplexer Systeme, Schätzungsverfahren, Performanzanalyse, Codegenerierung) 4) Interfacesynthese (Kommunikationsarten, Synchronisation, Synthese) 5) Verifikation und Cosimulation 6) Tafelübungen
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen - Die Studierenden erhalten Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet. Fachkompetenz - Verstehen - Die Studierenden verstehen Grundlagen des modernen Systementwurfs. - Die Studierenden erklären Implementierungsalternativen für digitale Hardware/Software-Systeme. Fachkompetenz - Anwenden - Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an, zur Analyse und Optimierung von Hardware/Software-Systemen.

7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Hardware-Software-Co-Design (Vorlesung mit erweiterter Übung)“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: • Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6 • Gajski, D. et al.: "Specification and Design of Embedded Systems", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994, ISBN: 978-0131507319 Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/hardware-software-co-design

1	Module name 44411	Embedded Systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Schwerpunkt des Moduls ist der Entwurf und die Implementierung eingebetteter Systeme unter Einsatz formaler Methoden und rechnergestützter Entwurfsverfahren. Unter eingebetteten Systemen versteht man Rechensysteme, die auf einen Anwendungsbereich zugeschnitten (z.B. mobile Kommunikationsgeräte, Chipkartensysteme, Industriesteuerungen, Unterhaltungselektronik, Medizintechnik) und in einen technischen Kontext eingebunden sind. Das große Interesse am systematischen Entwurf von heterogenen eingebetteten Systemen ist verursacht durch die steigende Vielfalt und Komplexität von Anwendungen für eingebettete Systeme, die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken sowie durch Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Methoden). <i>The focus of this module is the design and implementation of embedded systems using formal methods and computer-aided design techniques. Embedded systems are computing systems tailored for a particular application (e.g., mobile communication devices, smart card systems, industrial control, consumer electronics, medical technology) and integrated into a technical context. The keen interest in the systematic design of heterogeneous embedded systems is driven by the increasing diversity and complexity of embedded system applications, the need to reduce design and test costs, and advances in key technologies (microelectronics, formal methods).</i>
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen - Die Studierenden setzen sich mit einem aktuellen Forschungsgebiet auseinander. The students deal with a current field of research. Fachkompetenz - Verstehen - Die Studierenden verstehen grundlegende Konzepte des Entwurfs eingebetteter Systeme. The students become familiar with the fundamental concepts of designing of embedded systems. Fachkompetenz - Anwenden - Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an zur Analyse und Optimierung von Hardware-Architekturen und Echtzeit-Softwaresystemen. The students apply basic algorithms to analyze and optimize hardware architectures and real-time software systems.

		Die Studierenden erfassen den Hardware/Software-Entwurf von Systemen mit harten Beschränkungen. The students understand the hardware/software design of hard-constrained systems.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl der Module „Eingebettete Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen)“ und „Eingebettete Systeme (Vorlesung mit Übungen)“ aus. <i>Selecting this module excludes the selection of the modules “Embedded Systems (Lecture with Extended Exercises)” and “Embedded Systems (Lecture with Exercises)”.</i> Organisatorisches: - Die Vorlesung erfolgt in deutscher Sprache. Zusätzlich stehen Folien und Vorlesungsaufzeichnungen in englischer Sprache zur Verfügung. - Die Übungen werden sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch angeboten. - Studierende können die Prüfung wahlweise auf Deutsch oder Englisch ablegen. Organizational: - The lecture is given in German. Slides and lecture recordings are also provided in English. - German as well as English exercises are offered. - Students can choose between taking the exam either in German or English.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Empfohlenes Buch zur Begleitung und Vertiefung: Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6

		Weitere Informationen:

		https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehveranstaltungen/vorlesungen/eingebettete-systeme/

1	Module name 92731	Communication Electronics	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Kommunikationselektronik (2 SWS)	5 ECTS
		Vorlesung: Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS)	5 ECTS
		Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (2 SWS)	-
		Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS)	-
3	Lecturers	Sebastian Klob Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert Marcelo Michael	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert
5	Contents	1. Einleitung 2. Darstellung von Signalen und Spektren • Kontinuierliche und diskrete Signale • Spektrum eines Signals • Unterabtastung und Überabtastung 3. Aufbau und Signale eines Software Defined Radio Systems • Blockschaltbild eines Software Defined Radio Systems • Basisband- und Trägersignale • Empfänger-Topologien • Signale in einem Software Defined Radio System 4. Drahtlose Netzwerke 5. Übertragungsstrecke • Funkstrecke • Antennen 6. Leistungsdaten eines Empfängers • Rauschen • Nichtlinearität • Dynamikbereich eines Empfängers 7. Digital Downconverter • CIC-Filter • Polyphasen-FIR-Filter • Halbband-Filterkaskade • Interpolation 8. Demodulation digital modulierter Signale • Einführung • Demodulation einer GFSK/PAM-Paketsendung Das Modul Kommunikationselektronik behandelt Aspekte der Schaltungstechnik und der Signalverarbeitung drahtloser Übertragungssysteme, die als sog. "Software Defined Radio" Systeme aufgebaut sind. Als Beispiel dient der Empfänger eines einfachen Telemetrie-Systems, der von der Antenne bis zum Nutzdatenausgang behandelt wird. Schwerpunkte bilden der Aufbau und die Eigenschaften der Hardware des Empfängers sowie die Algorithmen zum Empfang von Telemetrie-Signalen. Dabei wird ein typisches System mit Hilfe eines miniaturisierten Empfängers und einer Verarbeitung mit dem MATLAB-

		kompatiblen Mathematikprogramm Octave implementiert. Die benötigte Software wird den Studierenden zur Verfügung gestellt. *Content:* 1.Introduction 2.Signal representation and discrete signals - a.Continuous and discrete signals - b.Signal spectrum - c.Downsampling and upsampling 3.Structure and signals of a Software Defined Radio - a.Block diagram of a Software Defined Radio - b.Base band signals and carrier signals - c.Receiver topologies - d.Signals in a Software Defined Radio 4.Wireless networks 5.Transmission path - a.Radio link - b.Antennas 6.Performance data of a receiver - a.Noise - b.Nonlinearities - c.Dynamic range of a receiver 7.Digital Down Converter - a.CIC filter - b.Polyphase FIR filter - c.Halfband filter cascade - d.Interpolation 8.Demodulation of digital modulated signals - a.Introduction - b.Demodulation of a GFSK/PAM packet transmission The module Communication Electronics deals with aspects of circuitry and signal processing of wireless communication systems, built up as so-called "Software Defined Radio systems. A receiver of a simple telemetry system serves as an example, being examined starting from its antenna to the user data output. The focus lies on the structure and the characteristic of the receivers hardware as well as the algorithms for the reception of telemetry signals. A typical system is implemented using a miniaturized receiver and processing with the MATLAB-compatible Octave math program. The required software is provided to the students.
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden verstehen die grundlegende Funktionsweise eines Software Defined Radio (SDR) Systems, d.h. sie verstehen die Funktionsweise der einzelnen Signalverarbeitungsschritte sowie die auftretenden Signale selbst. 2. Die Studierenden analysieren die Leistungsfähigkeit der analogen Komponenten eines SDR Systems und können Verfahren zur Optimierung dieser Komponenten selbständig anwenden. 3. Die Studierenden analysieren die digitalen Verarbeitungsschritte ausgewählter Modulationsarten und können damit selbst die digitale Signalverarbeitung eines SDR Senders und Empfängers erschaffen.

		1. The students will understand the basic operation of a Software Defined Radio (SDR) system, i.e. the students will understand how the individual signal processing steps work as well as the signals themselves. 2. The students analyze the performance of the analog components of an SDR system and are able to apply procedures for optimizing these components independently. 3. The students analyse the digital processing steps of selected modulation types and are able to create the digital signal processing of an SDR transmitter and receiver themselves.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, grundlegende Kenntnisse im Bereich digitaler Signalverarbeitung werden vorausgesetzt
8	Integration in curriculum	semester: 2;1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Veranstaltung im StudON verfügbar: https://www.studon.fau.de/studon/goto.php?target=crs_117973

1	Module name 96591	Design of Integrated Circuits I	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler
5	Contents	Es wird in die Grundlagen des integrierten digitalen Schaltungsentwurfes auf Basis von CMOS eingeführt. Ausgehend vom MOS Transistor wird die Complementäre Logik erklärt und auf gängige statische und dynamische Schaltelemente und ihre Erweiterungen auf hochintegrierte Schaltungen bis 0.13µm eingegangen. • Digitaler IC Entwurf für Deep Submicron • MOS Transistor • Herstellung, Layout und Simulation • MOS Inverterschaltung • Statische CMOS Gatter-Schaltungen • Entwurf von Logik mit hoher Schaltrate • Transfer-Gatter und dynamische Logik • Entwurf von Speichern • Zusätzliche Themen des Speicherentwurfs Content It introduces students to the basics of digital integrated circuit design in CMOS. Starting from the MOS transistor, complementary logic is explained. Common static and dynamic switching elements are discussed as well as their extensions to large scale integrated circuits (0.18µm-0.13µm). • Deep Submicron Digital IC Design • MOS Transistor • Fabrication, Layout and Simulation • MOS Inverter Circuits • Static CMOS Gate-Circuits • Design of Logic with High Switching Rate • Transfer-Gates and Dynamic Logic • Design of Memory • Additional Topics of Memory Design
6	Learning objectives and skills	Verstehen • Die Studierenden gewinnen einen Überblick über existierende Integrationstechnologien und Entwurfsmethodiken für Integrierte Schaltungen in 0,18µm und 0,13µm CMOS. Dabei verstehen die Studierenden auch die Zusammenhänge zwischen technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Halbleiterfertigung. Evaluieren (Beurteilen) • Die Studierenden analysiert das Verhalten von MOS/CMOS-Transistoren. Daneben können sie verschiedene statische und

		dynamische digitale Schaltungsstrukturen auf Transistorebene bewerten. Learning objectives and competencies: Understand - gain an overview of existing integration technologies and integrated circuit design techniques in CMOS (0.18μm-0.13μm), understanding technical and economic aspects of semiconductor manufacturing. Evaluate (Assess) - Analyze the behavior of MOS / CMOS transistors and evaluate various static and dynamic digital circuit structures at transistor level.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

Specialization Networks and Digital Communication: Compulsory Modules

1	Module name 43141	Mobile Communications Mobile communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Mobile Communications - Tutorial (1 SWS) Vorlesung: Mobile Communications (3 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Levi-Pascal Bohnacker Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller
5	Contents	History of mobile communications, cellular systems, sectorization, spectral efficiency, co-channel interference, adjacent-channel interference, near-far effect, cellular network architecture, antenna types and parameters, free space propagation, reflection, attenuation, diffraction, scattering, classification of channel models, ground reflection model, Okumura-Hata model, shadowing, narrow-band fading, time-variant channels, scattering function, delay-Doppler spectrum, diversity principles, combining methods, diversity gain, multiplexing, duplexing, digital modulation, Gaussian filtered minimum shift keying, basics of channel coding, interleaving, global system for mobile communications, physical versus logical channels, frame structure, call set-up, synchronization, channel estimation, hand-off
6	Learning objectives and skills	The students explain the cellular structure of mobile communication systems. They students explain the physical mechanics of radio wave propagation in the cm-band. The students explain the GSM cellular communications standard. The students discuss the pros and cons of several multiple-access and duplexing methods. The students discuss the pros and cons of several modulation and coding formats. The students decide which antenna type is suitable for a given morphological structure of the environment. The students predict the amplitude and dynamic of the attenuation between a mobile transmitter and a fixed receiver. The students utilize diversity methods to improve the link quality. The students determine the coverage probability of a given cellular communication system. The students collaborate on solving exercise problems. The students discuss which system solutions fit to which environments.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Proakis, J.: Digital Communications, McGraw-Hill, 4th ed., 2001. Rappaport, T.: Wireless Communications: Principles & Practice, Prentice Hall, 2nd ed., 2001. Mouly, M., Paulet, M.: The GSM System for Mobile Communications, Cell & SYS, France, 1992. Goldsmith, A.: Wireless Communications, Cambridge Univ. Press, 2005.

1	Module name 43955	Communication Systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Aus Rechnerkommunikation ist der grundlegende Aufbau von IP-basierten Netzen bekannt, Inhalt von Kommunikationssysteme sind weitere Netztechnologien wie Leitungsvermittlung (Telefonnetze, Sonet/ SDH/WDM) und Netze mit virtueller Leitungsvermittlung (ATM, MPLS) sowie Netzwerkvirtualisierung (SDN, NFV), Multimediakommunikation über paketvermittelte Netze (Streaming, RTP, SIP, Multicast), Dienstgüte in paketvermittelten Netzen (Integrated Services, RSVP, Differentiated Services, Active Queue Management, Policing, Scheduling), drahtlose und mobile Kommunikation (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, ZigBee u.a. Sensornetze). Auch Kommunikation in der Industrie wird behandelt. In der Übung werden praktische Aufgaben im Labor durchgeführt: ein Labor enthält mehrere IP-Router, Switches und Rechner, IP-Telefone und Telefonie-Software für VoIP, es werden verschiedene Konfigurationen eingestellt und getestet. Ein weiterer Übungsteil beschäftigt sich mit Mobilkommunikation. *Contents:* Based on the course computer communications the architecture of IP networks is known. Contents of this course will be additional networking technologies such as circuit switching (telephony, SONET/ SDH/WDM) and networks with virtual circuit switching (ATM, MPLS) as well as network virtualization (SDN, NFV), multimedia communications over packet switched networks (streaming, RTP, SIP, multicast), quality-of-service in packet switched networks (integrated services, RSVP, differentiated services, active queue management, policing, scheduling), wireless and mobile communications (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, sensor networks such as ZigBee). Industrial communication will also be a topic. In the tutorial practical tasks are performed in the laboratory: One laboratory contains several IP routers, switches and computers, IP phones and VoIP telephone software. Various configurations are set up and tested. Another part of the tutorial deals with mobile communications.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Kenntnisse über Technologien bei der Leitungs- und Paketvermittlung in leitungsgebundenen und drahtlosen/mobilen Netzen Kenntnisse über die Grundlagen von Dienstgütemechanismen in paketvermittelten Netzen praktische Erfahrung in der Konfiguration eines IP-Switch-Router-Netzes mit Multimediaverkehr Students obtain the following learning targets and competences

		Knowledge of technologies in circuit and packet switching in wired and wireless/mobile networks Knowledge of the foundations of quality of service mechanisms in packet switched networks Practical experience in configuring an IP switch router network with multimedia traffic
7	Prerequisites	Basic knowledge of working with the Linux command line interface (terminal).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Course achievement Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%) Course achievement (pass/fail) Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7th Ed., Pearson Education, 2017 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pear-son Education, 2016 Cox. An Introduction to LTE. Wiley, 2012

1	Module name 44362	Quality of Service of Communication Systems Quality of service in communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Quality of Service in Communications (2 SWS) Übung: Quality of Service in Communications (Ex-QoSic) (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Reinhard German Anna Arestova	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Zunächst wird der Begriff der Dienstgüte (Quality-of-Service, QoS) eingegrenzt und es werden die wichtigsten Ansätze zur Erzielung von Dienstgüte besprochen und in ausgewählten Netztechnologien untersucht. Dann werden unterschiedliche Methoden vorgestellt, mit denen Systeme bezüglich ihrer Dienstgüte bewertet und ausgelegt werden können: • Netzplanung und optimierung, • stochastische Analyse (Markow-Ketten, Warteschlangen), • Netzwerksimulation, • deterministische Analyse mit Network Calculus zur Ermittlung von Dienstgütegarantien • Messung (HW-, SW-, Hybrid-Monitoring, Benchmarks). Alle Methoden werden an Beispielen demonstriert. *Contents:* We introduce the term quality-of-service (QoS), discuss important approaches to achieve certain degrees of QoS, and show how the implementation in computer networks. Then a number of methodologies to assess and design systems with respect to their QoS: • network planning and optimization, • network simulation, • stochastic analysis (Markov chains, non-Markovian models, queuing systems), • deterministic analysis with network calculus to determine QoS guarantees • measurements (hardware, software, and hybrid monitoring, benchmarks). All methods are illustrated by examples.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erwerben • Kenntnisse in Methoden zur Modellierung und Bewertung von quantitativen, nicht-funktionalen Eigenschaften von vernetzten Systemen • Kenntnisse in Mechanismen von vernetzten Systemen zur Erzielung von Dienstgüte *Learning targets and competences:* The students get • experience in methods to model and evaluate quantitative, non-functional properties of computer networks and related systems

		• knowledge of mechanisms of computer networks to achieve quality-of-service
7	Prerequisites	Rechnerkommunikation, Kommunikationssysteme, grundlegende Programmierkenntnisse (optimal in R und C++)
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet. 6th Ed., Addison Wesley, 2013 • W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 • W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pearson Education, 2016

1	Module name 93601	Information Theory and Coding / Informationstheorie und Codierung Information theory and coding	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Informationstheorie und Codierung - Übung (1 SWS) Vorlesung: Informationstheorie und Codierung (3 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Johanna Fröhlich Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller
5	Contents	1. Introduction: binomial distribution, (7,4)-Hamming code, parity-check matrix, generator matrix 2. Probability, entropy, and inference: entropy, conditional probability, Bayes law, likelihood, Jensens inequality 3. Inference: inverse probability, statistical inference 4. The source coding theorem: information content, typical sequences, Chebychev inequality, law of large numbers 5. Symbol codes: unique decidability, expected codeword length, prefix-free codes, Kraft inequality, Huffman coding 6. Stream codes: arithmetic coding, Lempel-Ziv coding, Burrows-Wheeler transform 7. Dependent random variables: mutual information, data processing lemma 8. Communication over a noisy channel: discrete memory-less channel, channel coding theorem, channel capacity 9. The noisy-channel coding theorem: jointly-typical sequences, proof of the channel coding theorem, proof of converse, symmetric channels 10. Error-correcting codes and real channels: AWGN channel, multivariate Gaussian pdf, capacity of AWGN channel 11. Binary codes: minimum distance, perfect codes, why perfect codes are bad, why distance isnt everything 12. Message passing: distributed counting, path counting, low-cost path, min-sum (=Viterbi) algorithm 13. Exact marginalization in graphs: factor graphs, sum-product algorithm 14. Low-density parity-check codes: density evolution, check node degree, regular vs. irregular codes, girth 15. Lossy source coding: transform coding and JPEG compression -- 1. Einleitung: Binomialverteilung, (7,4)-Hamming-Code, Paritätsmatrix, Generatormatrix 2. Wahrscheinlichkeit, Entropie und Inferenz: Entropie, bedingte Wahrscheinlichkeit, Bayessches Gesetz, Likelihood, Jensensche Ungleichung 3. Inferenz: Inverse Wahrscheinlichkeit, statistische Inferenz 4. Das Quellencodierungstheorem: Informationsgehalt, typische Folgen, Tschebyschevsche Ungleichung, Gesetz der großen Zahlen

		5. Symbolcodes: eindeutige Dekodierbarkeit, mittlere Codewortlänge, präfixfreie Codes, Kraftsche Ungleichung, Huffman-codierung 6. Stromcodes: arithmetische Codierung, Lempel-Ziv-Codierung, Burrows-Wheeler-Transformation 7. Abhängige Zufallsvariablen: Transinformation, Datenverarbeitungslemma 8. Kommunikation über gestörte Kanäle: diskreter gedächtnisloser Kanal, Kanalcodierungstheorem, Kanalkapazität 9. Das Kanalcodierungstheorem: verbundtypische Folgen, Beweis des Kanalcodierungstheorems, Beweis des Umkehrsatzes, symmetrische Kanäle 10. Fehlerkorrigierende Codes und reale Kanäle: AWGN-Kanal, mehrdimensionale Gaußsche WDF, Kapazität des AWGN-Kanals 11. Binäre Codes: Minimaldistanz, perfekte Codes, Warum perfekte Codes schlecht sind, Warum Distanz nicht alles ist 12. Nachrichtenaustausch: verteiltes Zählen, Pfadzählen, günstigster Pfad, Minimumsummenalgorithmus 13. Exakte Marginalisierung in Graphen: Faktorgraph, Summenproduktalgorithmus 14. LDPC-Codes: Dichteevolution, Knotenordnung, reguläre und irreguläre Codes, Graphumfang 15. Verlustbehaftete Quellencodierung: Transformationscodierung und JPEG-Kompression
6	Learning objectives and skills	The students apply Bayesian inference to problems in both communications and everyday's life. The students explain the concept of digital communications by means of source compression and forward-error correction coding. For the design of communication systems, they use the concepts of entropy and channel capacity. They calculate these quantities for memoryless sources and channels. The students prove both the source coding and the channel coding theorem. The students compare various methods of source coding with respect to compression rate and complexity. The students apply source compression methods to measure mutual information. The students factorize multivariate functions, represent them by graphs, and marginalize them with respect to various variables. The students explain the design of error-correcting codes and the role of minimum distance. They decode error-correcting codes by means of maximum-likelihood decoding and message passing. The students apply distributed algorithms to problems in both communications and everyday's life. The students improve the properties of low-density parity-check codes by widening the girth and/or irregularity in the degree distribution. The students transform source images into the frequency domain to improve lossy compression. --

		Die Studierenden wenden Bayessche Inferenz auf Probleme in der Nachrichtentechnik und im Alltagsleben an. Die Studierenden erklären die konzeptuelle Trennung von digitaler Übertragung in Quellen- und Kanalcodierung. Kommunikationssysteme entwerfen sie unter Betrachtung von Entropie und Kanalkapazität. Sie berechnen diese Größen für gedächtnislose Quellen und Kanäle. Die Studierenden beweisen sowohl das Quellen- als auch das Kanalcodierungstheorem. Die Studierenden vergleichen verschiedenartige Quellencodierungsverfahren hinsichtlich Komplexität und Kompressionsrate. Die Studierenden verwenden Quellencodiervverfahren zur Messung von Transinformation. Die Studierenden faktorisieren Funktionen mehrerer Veränderlicher, stellen diese als Graph dar und marginalisieren sie bezüglich mehrerer Veränderlicher. Die Studierenden erklären den Entwurf von Kanalcodes und den Einfluss der Minimaldistanz. Sie decodieren Kanalcodes gemäß maximaler Likelihood und Nachrichtenaustausch. Die Studierenden wenden verteilte Algorithmen auf Probleme der Nachrichtentechnik und des Alltagslebens an. Die Studierenden verbessern die Eigenschaften von LDPC-Codes durch Erhöhung des Umfangs und/oder durch irreguläre Knotenordnungsverteilungen. Die Studierenden transformieren Bildquellen zur Verbesserung verlustbehafteter Kompression in den Frequenzbereich.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

16	Bibliography	MacKay, D.: Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

Specialization Media Processing Systems: Compulsory Modules

1	Module name 43955	Communication Systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Aus Rechnerkommunikation ist der grundlegende Aufbau von IP-basierten Netzen bekannt, Inhalt von Kommunikationssysteme sind weitere Netztechnologien wie Leitungsvermittlung (Telefonnetze, Sonet/ SDH/WDM) und Netze mit virtueller Leitungsvermittlung (ATM, MPLS) sowie Netzwerkvirtualisierung (SDN, NFV), Multimediakommunikation über paketvermittelte Netze (Streaming, RTP, SIP, Multicast), Dienstgüte in paketvermittelten Netzen (Integrated Services, RSVP, Differentiated Services, Active Queue Management, Policing, Scheduling), drahtlose und mobile Kommunikation (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, ZigBee u.a. Sensornetze). Auch Kommunikation in der Industrie wird behandelt. In der Übung werden praktische Aufgaben im Labor durchgeführt: ein Labor enthält mehrere IP-Router, Switches und Rechner, IP-Telefone und Telefonie-Software für VoIP, es werden verschiedene Konfigurationen eingestellt und getestet. Ein weiterer Übungsteil beschäftigt sich mit Mobilkommunikation. *Contents:* Based on the course computer communications the architecture of IP networks is known. Contents of this course will be additional networking technologies such as circuit switching (telephony, SONET/ SDH/WDM) and networks with virtual circuit switching (ATM, MPLS) as well as network virtualization (SDN, NFV), multimedia communications over packet switched networks (streaming, RTP, SIP, multicast), quality-of-service in packet switched networks (integrated services, RSVP, differentiated services, active queue management, policing, scheduling), wireless and mobile communications (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, sensor networks such as ZigBee). Industrial communication will also be a topic. In the tutorial practical tasks are performed in the laboratory: One laboratory contains several IP routers, switches and computers, IP phones and VoIP telephone software. Various configurations are set up and tested. Another part of the tutorial deals with mobile communications.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Kenntnisse über Technologien bei der Leitungs- und Paketvermittlung in leitungsgebundenen und drahtlosen/mobilen Netzen Kenntnisse über die Grundlagen von Dienstgütemechanismen in paketvermittelten Netzen praktische Erfahrung in der Konfiguration eines IP-Switch-Router-Netzes mit Multimediaverkehr Students obtain the following learning targets and competences

		Knowledge of technologies in circuit and packet switching in wired and wireless/mobile networks Knowledge of the foundations of quality of service mechanisms in packet switched networks Practical experience in configuring an IP switch router network with multimedia traffic
7	Prerequisites	Basic knowledge of working with the Linux command line interface (terminal).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Course achievement Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%) Course achievement (pass/fail) Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7th Ed., Pearson Education, 2017 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pear-son Education, 2016 Cox. An Introduction to LTE. Wiley, 2012

1	Module name 44130	Pattern Recognition Pattern recognition	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Mathematical foundations of machine learning based on the following classification methods: • Bayesian classifier • Logistic Regression • Naive Bayes classifier • Discriminant Analysis • norms and norm dependent linear regression • Rosenblatt's Perceptron • unconstraint and constraint optimization • Support Vector Machines (SVM) • kernel methods • Expectation Maximization (EM) Algorithm and Gaussian Mixture Models (GMMs) • Independent Component Analysis (ICA) • Model Assessment • AdaBoost Mathematische Grundlagen der maschinellen Klassifikation am Beispiel folgender Klassifikatoren: • Bayes-Klassifikator • Logistische Regression • Naiver Bayes-Klassifikator • Diskriminanzanalyse • Normen und normabhängige Regression • Rosenblatts Perzeptron • Optimierung ohne und mit Nebenbedingungen • Support Vector Maschines (SVM) • Kernelmethoden • Expectation Maximization (EM)-Algorithmus und Gaußsche Mischverteilungen (GMMs) • Analyse durch unabhängige Komponenten • Modellbewertung • AdaBoost
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Struktur von Systemen zur maschinellen Klassifikation einfacher Muster • erläutern die mathematischen Grundlagen ausgewählter maschineller Klassifikatoren • wenden Klassifikatoren zur Lösung konkreter Klassifikationsproblem an

		• beurteilen unterschiedliche Klassifikatoren in Bezug auf ihre Eignung • verstehen in der Programmiersprache Python geschriebene Lösungen von Klassifikationsproblemen und Implementierungen von Klassifikatoren Students • understand the structure of machine learning systems for simple patterns • explain the mathematical foundations of selected machine learning techniques • apply classification techniques in order to solve given classification tasks • evaluate various classifiers with respect to their suitability to solve the given problem • understand solutions of classification problems and implementations of classifiers written in the programming language Python
7	Prerequisites	• Well grounded in probability calculus, linear algebra/matrix calculus • The attendance of our bachelor course 'Introduction to Pattern Recognition' is not required but certainly helpful. • Gute Kenntnisse in Wahrscheinlichkeitsrechnung und Linearer Algebra/Matrizenrechnung • Der Besuch der Bachelor-Vorlesung 'Introduction to Pattern Recognition' ist zwar keine Voraussetzung, aber sicherlich von Vorteil.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english english

16	Bibliography	• Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stock: Pattern Classification, 2nd edition, John Wiley&Sons, New York, 2001 • Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman: The Elements of Statistical Learning - Data Mining, Inference, and Prediction, 2nd edition, Springer, New York, 2009 • Christopher M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, New York, 2006

1	Module name 96311	Image and Video Compression Image and video compression	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Image and Video Compression (IVC) (4 SWS) Übung: Übung zu Image and Video Compression	5 ECTS -
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup Anna Meyer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	Multi-Dimensional Sampling - Sampling theorem revisited, 2D sampling, spatiotemporal sampling, motion in 3D sampling Entropy and Lossless Coding - Entropy and information, variable length codes, Huffman coding, unary coding, Golomb coding, arithmetic coding Statistical Dependency - Joint entropy and statistical dependency, run-length coding, fax compression standards Quantization - Rate distortion theory, scalar quantization, Lloyd-Max quantization, entropy coded scalar quantization, embedded quantization, adaptive quantization, vector quantization Predictive Coding - Lossless predictive coding, optimum 2D linear prediction, JPEG-LS lossless compression standard, differential pulse code modulation (DPCM) Transform Coding - Principle of transform coding, orthonormal transforms, Karhunen-Loève transform, discrete cosine transform, bit allocation, compression artifacts Subband Coding - Principle of subband coding, perfect reconstruction property, discrete wavelet transform, bit allocation for subband coding Visual Perception and Color - Anatomy of the human eye, sensitivity of the human eye, color spaces, color sampling formats Image Coding Standards - JPEG and JPEG2000 Interframe Coding - Interframe prediction, motion compensated prediction, motion estimation, motion compensated hybrid coding Video Coding Standards - H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 / H.262, H.264 / MPEG-4 AVC, H.265 / MPEG-H HEVC
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden veranschaulichen die mehrdimensionale Abtastung und den Einfluss darauf durch Bewegung im Videosignal

		• unterscheiden und bewerten verschiedene Verfahren zur verlustfreien Codierung von Bild- und Videodaten • verstehen und analysieren Verbundentropie und statistische Abhängigkeiten in Bild- und Videodaten • berechnen skalare und vektorielle Quantisierer nach unterschiedlichen Optimierungsvorgaben (minimaler mittlerer quadratischer Fehler, entropiecodiert, eingebetteter Quantisierer) • bestimmen und evaluieren optimale ein- und zwei-dimensionale lineare Prädiktoren • wenden Prädiktion und Quantisierung sinnvoll in einem gemeinsamen DPCM-System an • verstehen das Prinzip und die Effekte von Transformations- und Teilbandcodierung für Bilddaten einschließlich optimaler Bitzuteilungen • beschreiben die Grundzüge der menschlichen visuellen Wahrnehmung für Helligkeit und Farbe • analysieren Blockschaltbilder und Wirkungsweisen hybrider Coder und Decoder für Videosignale • kennen die maßgeblichen internationalen Standards aus ITU und MPEG zur Bild- und Videokompression.
7	Prerequisites	Modul "Signale und Systeme II" und das Modul "Nachrichtentechnische Systeme" stark empfohlen.
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung (Klausur) von 90 min Dauer.
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	J.-R. Ohm: Multimedia Communications Technology, Springer-Verlag, 2004

1	Module name 96430	Statistical Signal Processing Statistical signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Heinrich Löllmann
5	Contents	The course concentrates on fundamental methods of statistical signal processing and their applications. The main topics are: *Discrete-time stochastic processes in the time and frequency domain* Random variables (RVs), probability distributions and densities, expectations of random variables, transformation of RVs, vectors of normally distributed RVs, time-discrete random processes: probability distribution and densities, expectation, stationarity, cyclostationarity, ergodicity, correlation functions and correlation matrices, spectral representations, principal component analysis (PCA), Karhunen-Loève transform (KLT). *Estimation theory* estimation criteria, prediction, classical and Bayesian parameter estimation (including MMSE, Maximum Likelihood, and Maximum A Posteriori estimation), Cramer-Rao bound *Linear signal models* Parametric models (cepstral decomposition, Paley-Wiener theorem, spectral flatness), non-parametric models (all-pole, all-zero and pole-zero models, lattice structures, Yule-Walker equations, PARCOR coefficients, cepstral representation) *Signal estimation* Supervised estimation, problem classes, orthogonality principle, MMSE estimation, linear MMSE estimation for normally distributed random processes, optimum FIR filtering, optimum linear filtering for stationary processes, prediction and smoothing, Kalman filters, optimum multichannel filtering (Wiener filter, LCMV, MVDR, GSC) *Adaptive filtering* Gradient methods, LMS, NLMS, APA and RLS algorithms and their convergence behavior *Zeitdiskrete Zufallsprozesse im Zeit- und Frequenzbereich* Zufallsvariablen (ZVn), Wahrscheinlichkeitsverteilungen und dichten, Erwartungswerte; Transformation von ZVn; Vektoren normalverteilter ZVn; zeitdiskrete Zufallsprozesse (ZPe): Wahrscheinlichkeitsverteilungen und dichten, Erwartungswerte, Stationarität, Zyklstationarität, Ergodizität, Korrelationsfunktionen und -matrizen, Spektraldarstellungen; Principal Component Analysis, Karhunen-Loeve Transformation; *Schätztheorie* Schätzkriterien; Prädiktion; klassische und Bayessche Parameterschätzung (inkl. MMSE, Maximum Likelihood, Maximum A Posteriori); Cramer-Rao-Schranke *Lineare Signalmodelle*

		Parametrische Modelle (Cepstrale Zerlegung, Paley-Wiener Theorem, Spektrale Glattheit); Nichtparametrische Modelle: Allpole-/Allzero-/Pole-zero-(AR/MA/ARMA) Modelle; Lattice-Strukturen, Yule-Walker Gleichungen, PARCOR-Koeffizienten, Cepstraldarstellungen; *Signalschätzung* Überwachte Signalschätzung, Problemklassen; Orthogonalitätsprinzip, MMSE-Schätzung, lineare MMSE-Schätzung für Gaußprozesse; Optimale FIR-Filter; Lineare Optimalfilter für stationäre Prozesse; Prädiktion und Glättung; Kalman-Filter; optimale Multikanalfilterung (Wiener-Filter, LCMV, MVDR, GSC); *Adaptive Filterung* Gradientenverfahren; LMS-, NLMS-, APA- und RLS-Algorithmus und Ihr Konvergenzverhalten.
6	Learning objectives and skills	The students: - analyze the statistical properties of random variables, random vectors, and stochastic processes by probability density functions and expectations as well as correlation functions and matrices and their frequency-domain representations - know the Gaussian distribution and its role to describe the properties of random variables, vectors and processes - understand the differences between classical and Bayesian estimation, derive and analyze MMSE and ML estimators for specific estimation problems, especially for signal estimation - analyze and evaluate optimum linear MMSE estimators (single- and multichannel Wiener filter and Kalman filter) for direct and inverse supervised estimation problems - evaluate adaptive filters for the identification of optimum linear estimators. Die Studierenden - analysieren die statistischen Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und stochastischen Prozessen mittels Wahrscheinlichkeitsdichten und Erwartungswerten, bzw. Korrelationsfunktionen, Korrelationsmatrizen und deren Frequenzbereichsdarstellungen - kennen die spezielle Rolle der Gaußverteilung und ihre Auswirkungen auf die Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und Prozessen - verstehen die Unterschiede klassischer und Bayesscher Schätzung, entwerfen und analysieren MMSE- und ML-Schätzer für spezielle Schätzprobleme, insbesondere zur Signalschätzung - analysieren und evaluieren lineare MMSE-optimale Schätzer (ein- und vielkanalige Wiener-Filter und Kalman-Filter) für direkte und inverse überwachte Schätzprobleme; - evaluieren adaptive Filter zur Identifikation optimaler linearer Signalschätzer
7	Prerequisites	Module Signale und Systeme I und Signale und Systeme II, Digitale Signalverarbeitung oder gleichwertige

8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	A. Papoulis, S. Pillai: Probability, Random Variables and Stochastic Processes; McGraw-Hill, 2002 (englisch) D. Manolakis, V. Ingle, S. Kogon: Statistical and Adaptive Signal Processing; Artech House, 2005 (englisch)

Specialization Embedded Systems: Compulsory elective module EEI

1	Module name 43460	Satellitenkommunikation Satellite communication	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übung Satellitenkommunikation (2 SWS) Vorlesung: Satellitenkommunikation (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Marcelo Michael Dr. Christian Rohde	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger
5	Contents	Nach einem historischen Rückblick zur Entwicklung der Satellitenkommunikation werden die einzelnen Komponenten eines typischen Gesamtsystems (Boden- und Raumsegment) näher betrachtet. Hierzu zählt der prinzipielle Aufbau von Trägerraketen, von Satelliten (Satellitenplattformen, Subsysteme, Nutzlasten), die meist genutzten Umlaufbahnen und die verschiedenen Kommunikationsverbindungen (Uplink, Downlink, Inter-Satellite-Link). Die Besonderheiten der Signalausbreitung und -übertragung über große Entfernungen zwischen Bodenstationen und Satelliten werden erklärt und mit Beispielen ergänzt. Dabei wird insbesondere eingegangen auf verwendete Frequenzen, Signaldispersion und -dämpfung, atmosphärische Effekte sowie Störeinflüsse der Weltraumumgebung. Die Architektur transparenter und regenerativer Kommunikationseinheiten wird ausführlich an Beispielen kommerziell verfügbarer Transponder und Onboard-Prozessoren erklärt. Die Prinzipien moderner, standardisierter Verfahren zur Signalaufbereitung und Übertragung von Video-/Bild und Audiosignalen über Satellit (z.B. MPEG, H.264/265, DVB-S/-S2/-S2X) werden erläutert und diskutiert. Dies umfasst Verfahren zur Quellencodierung, Kanalcodierung und Modulation, Kanalzugriff und -diversität. Außerdem wird auf die im Orbit und im kommerziellen Einsatz befindlichen Kommunikationssatelliten und der damit verbundenen großen Dienstvielfalt eingegangen wie z.B. bei TV- und Breitbandversorgung sowie in Mobilkommunikationssystemen. Abschließend werden einige Herausforderungen und Forschungsansätze im Zusammenhang mit den neuen Megakonstellationen und Next Generation High Throughput Satellites (HTS) für zukünftige Satellitensysteme vorgestellt. Die in der Vorlesung behandelten physikalischen, elektro- und nachrichtentechnischen Zusammenhänge werden in den ergänzenden Übungen mit Rechenbeispielen vertieft. Gliederung der Vorlesung: 1. Einführung: Überblick über die Hauptkomponenten, Satelliten, Anwendungen und Dienste, sowie Orbits, Aufgaben und Frequenzen der Satellitennetze 2. Historie der Satellitenkommunikation: Wichtige Meilensteine, Entwicklung in Europa und Deutschland 3. Orbits und Konstellationen:

Keplersche Gesetze, Beschreibung von Orbits, verwendete Umlaufbahnen, Bodenspuren, erreichbare Abdeckung

4. Trägersysteme:

Trägerraketen, Entwicklung, Anbietermarkt, Nutzlastfähigkeit, Startplätze, Startverlauf

5. Satellitenaufbau:

Auswahl aktueller Satellitenplattformen, Satellitenaufbau, Plattformkomponenten, Montageschritte und Tests

6. Satellitennutzlast (Payload):

Komponenten, Industrielle Beispiele, Aufbau und Aufgaben der Payload, Transponderarchitekturen, Antennen

7. Signalausbreitung und Leistungsbilanz:

Signalausbreitung, Freiraumverluste, Signaldämpfung, Rauschen, Signal-Rausch-Verhältnis, Linkbudget

8. Weltraumumgebung: Weltraumumgebungsbedingungen, Einflüsse auf den Satelliten und die Elektronik der Nutzlast

9. Quellencodierung:

Audio-, Bild- und Videokompression des Content des Satellitenfernsehens

10. Signalmodulation und Kanalcodierung:

Signalkonstellationen, Modulation und Codes zur Fehlerkorrektur

11. Diversitäts- und Zugriffsverfahren:

Medium Access, Duplextechniken, Multiplexmethoden, Diversitätstechniken

12. Moderne Satellitenkommunikationssysteme:

Rundfunksysteme wie Sirius XM Satellite Radio, zellulare Internetversorgung mittels Satellitenkommunikation

13. Neueste Themen aus Forschung und Entwicklung

SatKom auf StudOn: <http://www.studon.uni-erlangen.de/crs117969.html>

After a historical retrospective about the developments in satellite communication, the core components of a typical satellite system (ground- and space-segment) are introduced. The principles and architectures of rockets/ carriers, satellites (platform, subsystems, payload), used orbits, and the various communication links (uplink, downlink, inter-satellite-link) are shown. The special features and properties of signal transmission over such large distances are explained and stuffed with examples. In particular, more details are provided on the used frequencies, signal dispersion and attenuation, atmospheric effects as well as impairments due to space environment. The architecture of transparent and regenerative communication payloads are described in detail, accompanied by corresponding examples of commercially used transponders and onboard-processors and their technology.

The principles of modern standardized methods for signal transmission and preparation of video-/image- and audio-signals via satellite, e.g., MPEG, H.264/265, DVB-S/-S2/-S2X, are illustrated and discussed.

		This includes methods for efficient source coding, channel coding and modulation, channel access and diversity schemes. Furthermore, the currently available communication satellites in orbit and the related variety of commercial services are introduced like, e.g., TV- and broadband services as well as mobile communication services and systems. Based on that, a few challenges and perspectives for research and development for future satellite systems are highlighted with respect to the upcoming new mega constellations and next generation high throughput satellites (HTS). The physical, electro-technical and communications concepts and schemes shown in the lectures are complemented by tutorials with sample calculations. Table of contents: 1. Introduction: Overview of main components, satellites, applications and services, orbits, tasks, frequencies, satellite networks 2. History of satellite communications: Major milestones, development in Europe and Germany 3. Orbits and constellations: Kepler's laws, description of orbits, orbits used, ground tracks, achievable coverage 4. Launcher systems: Launch vehicles, providers, payload capabilities, launch sites, launch history 5. Satellite structure: Selection of current satellite platforms, satellite structure, platform components, assembly steps and tests 6. Payload: Components, structure and tasks of payload, transponder architecture, antennas 7. Signal propagation and link budget: Signal propagation, free space losses, signal attenuation, noise, signal to noise ratio, link budget 8. Space environment: Space environmental conditions, influences on the satellites and payload electronics 9. Source coding: Audio, image and video compression - the satellite TV broadcasting content 10. Signal modulation and channel coding: Signal constellations, modulation and error correction coding 11. Diversity and access schemes: Medium access, duplex methods, multiplex methods, diversity techniques 12. Modern satellite communications systems: Broadcasting systems like Sirius XM Satellite Radio, satellite cellular broadband communication 13. Latest topics in research and development
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden bekommen einen guten Überblick über alle Aspekte der Satellitenkommunikation inklusive Historie. • Die Studierenden lernen die weltweit führenden oder in Europa ansässigen Firmen und Organisationen kennen, die in den Bereichen Satellitenbau und -betrieb, Satellitendienste bzw. -anwendungen, sowie Forschung und Entwicklung tätig sind. • Die Studierenden können die Herausforderungen der Weltraumumgebung sowie Vor- und Nachteile verschiedener Orbits einschätzen und wichtige Kenngrößen berechnen

		- Die Studierenden lernen die Signalverarbeitungsschritte im Sender, Satelliten und Empfänger kennen - von der Audio/Video-Quelle über Link-Budget-Berechnungen bis zur Datensinke. - Die Studierenden lernen den Aufbau und wichtige Kenngrößen von Satelliten, Konstellationen und Launchern kennen und dabei verwendete Konzepte zu unterscheiden und zu klassifizieren bzgl. deren Vor- und Nachteilen.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (90 minutes) Klausur, 90min
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Skriptum zur Lehrveranstaltung

1	Module name 43911	Modellierung und Simulation von Schaltungen und Systemen Modelling and simulation of circuits and systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Klaus Helmreich
5	Contents	Motivation Ohne Simulation ist weder der Entwurf (mikro-)elektronischer Bauteile und Schaltungen denkbar, noch der von technischen Systemen, die solche Schaltungen und zusätzlich z.B. mechanische Komponenten enthalten. In Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik werden zu entwerfende Systeme daher auf verschiedenen Abstraktionsebenen simuliert. Dazu müssen sie geeignet modelliert sein, so daß die Simulation mittels numerischer Algorithmen rasch und genau erfolgen kann. Gliederung Die Vorlesung umfaßt Modellierungsansätze und Simulationsalgorithmen für elektronische Bauteile, hochfrequenztechnische Anordnungen, analoge elektrische Schaltkreise, digitale und gemischt analog-digitale Schaltungen sowie Systeme gemischter, also nicht rein elektrischer Natur. In der Übung werden wesentliche Algorithmen mit Matlab implementiert, wobei z.B. ein einfacher Schaltkreissimulator entsteht. 1 Einführung Begriffe und Definitionen, Modellierungsansätze, Modell- und Theoriebildung in der Naturwissenschaft, naturwissenschaftliche Darstellungen als Modelle der Wirklichkeit, Nutzung physikalischer Prinzipien und Theorien zur Behandlung technischer Fragestellungen durch Modellierung und Simulation, Abstraktionsebenen für Modellierung und Simulation in der Mikroelektronik 2 Beschreibung räumlich verteilter Systeme am Beispiel elektromagnetischer Felder Begriffe, mathematische Hilfsmittel: Operationen und Rechenregeln, Entstehung feldtheoretischer Begriffe und Darstellungen, Voraussagen der elektromagnetischen Feldtheorie und deren technische Anwendungen, Modellierung der Wechselwirkung elektromagnetischer Felder mit einfacher Materie, Darstellung im Frequenzbereich, Formulierung mathematischer Probleme in elektromagnetischen Größen zur Behandlung technischer Aufgabenstellungen 3 Simulation räumlich verteilter Systeme am Beispiel elektromagnetischer Felder Diskretisierung, Übersetzung der Operatoren und mathematischen Probleme auf räumliches Gitter, alternative Diskretisierungs- und Darstellungsmethoden, resultierende numerische Aufgabenstellungen, Formulieren von Randbedingungen 4 Simulation elektrischer Schaltkreise aus konzentrierten Bauelementen

		Übergang auf Netzwerke aus konzentrierten Bauelementen, Signaldarstellung durch Spannungen und Ströme, Knotenanalyse und modifizierte (erweiterte) Knotenanalyse, Zweigströme und Bauteilgleichungen, Problemformulierung als lineares Gleichungssystem, Einbeziehung nichtlinearer Bauelemente und Reaktanzen, Algorithmen zur numerischen Simulation elektrischer Schaltkreise, Schaltkreis-Simulationsprogramme: Schaltungsdarstellung und Analysearten 5 Simulation wert- und zeitdiskreter Systeme Übergang auf Signaldarstellung durch diskrete Werte, Abstraktionsebenen: Gatter-, Register-Transfer- und Algorithmenebene, Simulationsprogramme: Kategorien und Anforderungen, Klassifikation von Simulatoren hinsichtlich der Zeitverwaltung, Abstraktionsgrade bei der Modellierung des Zeitverhaltens von Komponenten, prinzipieller Simulationsalgorithmus 6 Hardware-Beschreibungssprachen für zeitdiskrete Systeme Begriff, Notwendigkeit, Entstehungsgeschichte und Anwendungsspektrum, aktuelle Hardware-Beschreibungssprachen, enthaltene Konzepte für Modellierung und Simulation am Beispiel VHDL: Strukturmodellierung, nebenläufige und sequentielle Verhaltensmodellierung, unterstützte Zeitverhaltensmodelle, Beispiele 7 Hardware-Beschreibung gemischt analog-digitaler Systeme und verschiedener analoger Naturen Konzept der Modellierung konservativer und mathematisch ähnlicher Systeme verschiedener analoger Naturen (elektrisch, mechanisch, hydraulisch, ...), Fluß- und Potentialgrößen, Simulationstechnik für gemischt analog-digitale Systeme, Entstehungsgeschichte entsprechender Simulatoren und Hardware-Beschreibungssprachen, unterstützte Abstraktionsebenen und Konzepte am Beispiel VHDL-AMS, Schnittstellenbeschreibung analoger Modelle, konservative und Signalflußmodellierung, Attribute und implizite Größen, Modellbeschreibung durch algebraische bzw. gewöhnlicher DGL, Modellbeispiele: FET, Inverter, A/D-Umsetzer, Gleichstrommotor
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden arbeiten an den folgenden Fachkompetenzen: Fachkompetenz Wissen • physikalische Prinzipien zur Behandlung technischer Fragestellungen durch Modellierung und Simulation nennen • alternative Diskretisierungs- und Darstellungsmethoden zur simulativen Behandlung feldtheoretischer Probleme darstellen • Anforderungen an Simulationsprogramme für wert- und zeitdiskrete Systeme angeben Verstehen • Netzlistendarstellung elektrischer Schaltungen kennen und interpretieren, die wesentlichen Algorithmen der elektrischen Schaltkreissimulation verstehen und Analysearten der Schaltkreissimulation erläutern • wesentliche Konzepte von Hardware-Beschreibungssprachen für zeitdiskrete Systeme erläutern

- Konzept der Modellierung konservativer und mathematisch ähnlicher Systeme verschiedener analoger Naturen verstehen und beschreiben

Anwenden

- bei raumverteilten Systemen Differentialoperationen in diskretisierte Darstellung übersetzen, Gleichungssystem bzw. Eigenwertproblem formulieren und in Datenstrukturen (Systemmatrix) übertragen
- auf elektrische Schaltkreise bzw. Netzwerke aus konzentrierten Elementen die modifizierte Knotenanalyse anwenden, Gleichungssystem aufstellen sowie in Datenstrukturen (Systemmatrix, Absolutvektor) übertragen

Analysieren

- die für technische Fragestellungen gebräuchlichen Modellierungsansätze unterscheiden
- die verschiedenen Abstraktionsebenen für Modellierung und Simulation in der Mikroelektronik untereinander abgrenzen hinsichtlich Anwendungsbereich, zugrundeliegender Annahmen, beschriebener Objekte, mathematischer Systembeschreibung und relevanter Darstellungsgrößen
- Simulationsprogramme hinsichtlich der Zeitverwaltung klassifizieren
- Abstraktionsgrade bei der Modellierung des Zeitverhaltens von Komponenten zeitdiskreter Systeme unterscheiden
- bei Hardware-Beschreibungssprachen zwischen Strukturmodellierung, nebenläufiger und sequentieller Verhaltensmodellierung unterscheiden

Evaluiieren (Beurteilen)

- elektrotechnische Fragestellungen in Bezug auf Modellierung und Simulation hinsichtlich der Abstraktionsebene einstufen
- Simulationswerkzeuge hinsichtlich der Eignung für eine gegebene Aufgabenstellung bewerten
- für eine gegebene Aufgabenstellung die geeignete Modellierung und Simulationsunterstützung wählen

Erschaffen

- einfaches Simulationsprogramm für potentialtheoretische Probleme erstellen
- elementaren Schaltkreissimulator entwickeln

Lern- bzw. Methodenkompetenz

Lernziele hinsichtlich Lern- und Arbeitsmethoden:

- Programmiersprache, Datenstrukturkonzepte und wesentliche Operationen des Numerik-Werkzeugs Matlab exemplarisch für ähnliche Produkte erlernen
- in der Lage sein, sich das Arbeiten mit ähnlichen Werkzeugen und Programmiersprachen selbständig zu erschließen
- numerische Simulationsalgorithmen mit speziell dafür geeigneten Werkzeugen wie Matlab, Scilab oder Octave umsetzen

		• Simulationswerkzeuge in der Ingenieurtätigkeit souverän und mit Überlegung einsetzen Selbstkompetenz Lernziele hinsichtlich persönlicher Weiterentwicklung: • naturwissenschaftliche Aussagen und Beziehungen als Modelle verstehen • Möglichkeiten und Grenzen kommerzieller Simulationswerkzeuge auf verschiedenen Abstraktionsebenen beurteilen und sich deren effiziente Nutzung selbst aneignen • Modelle hinsichtlich Plausibilität, Falsifizierbarkeit und Gültigkeitsgrenzen hinterfragen sowie auf Simulationsergebnissen beruhenden Aussagen kritisch begegnen Sozialkompetenz Lernziele hinsichtlich des Umgangs mit Menschen: • Programme gemeinsam in Kleingruppen entwickeln • dabei auf Vorkenntnisse anderer zugreifen und aufbauen
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Prüfungsform: mündlich (30 Minuten)
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 44000	Test integrierter Schaltungen	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Test Integrierter Schaltungen (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Klaus Helmreich	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Klaus Helmreich
5	Contents	Motivation Damit unsere elektronischen Geräten überhaupt funktionieren, muß jede einzelne mikroelektronische Schaltung darin nach ihrer Fertigung geprüft werden. Wegen der Komplexität heutiger integrierter Schaltungen (ICs) machen diese Tests bis zur Hälfte der Fertigungskosten aus! - Ein guter Grund, sich mit dem Thema Test auseinanderzusetzen, wenn man sich mit Mikroelektronik befaßt. Gliederung Die Vorlesung umfaßt Inhalte zu Bedeutung, Theorie, Methodik, Gerätetechnik und Praxis des Tests in der Halbleiterfertigung. 1 Test in der Halbleiterfertigung Herstellungsphasen integrierter Schaltungen, wirtschaftliche Bedeutung des Tests, Testsysteme, Zuführungs- und Sortierautomaten, Prüfadapter für montierte ICs und Wafer, Kontakttechnologien für Wafertest, Modulare Testsysteme 2 Messen und Testen Begriffe und Definitionen, Meßunsicherheit und Irrtumsrisiko, Schätzung von statistischen Parametern: Mittelwert, Streuwert, Konfidenzintervalle, Rechnen mit statistischen Schätzwerten, Entscheidungsfindung bei Irrtumsrisiken, Hypothesentest der mathematischen Statistik als theoretische Grundlage des Fertigungstests, Schließen aus statistischen Aussagen 3 Fehler und Tests Definition, Klassifizierung hinsichtlich Entstehung und Auswirkung, Test im Herstellungsprozess und während des Produktlebens, Randbedingungen verschiedener Testaufgaben 4 Testkosten und Prüfstrategie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Zehner-Regel, Testkosten und Testgüte, Testkomplexität, Maßzahlen: Fehlerwahrscheinlichkeit, Ausbeuten, Fehlerüberdeckung, Testschlupf und Ausbeuteverlust 5 Testkategorien und Testerzeugung Notwendigkeit des Produktionstests, Defekte und Fehler, Zuverlässigkeitstest, Simulation und Test, Testentwurf, Bestandteile von Fertigungstests, Funktionstest und Strukturtest, Fehlermodelle, Testmustererzeugung durch Fehlersimulation und synthetische Verfahren, Fehlerklassen und Fehlerkatalog, redundante Fehler, D-Kalkül 6 Testsysteme Entstehungsgeschichte, Funktionsprinzip, Einteilung nach Einsatzbereich und Prüflingskategorie, Leistungsmerkmale und Aufbau, Pinelektronik 7 Prüfprogramm und Testsignalbeschreibung

		Zyklisierung und Prüftakt, Prüfmuster, Zeitmarken, Testsystemarchitekturen, Signalformate 8 Test gemischt analog-digitaler Schaltungen (Mixed-Signal Test) Instrumentierung, digitale Signalverarbeitung, Kohärentes Testen, Parameter gemischt analog-digitaler Schaltungen, spektrale und Histogrammtests, Testabläufe 9 Test weiterer Schaltungsklassen Speichertest: Fehlermodell, Prüfverfahren, algorithmische Mustergenerierung und Redundanzanalyse, Test von Hochfrequenzschaltungen: Instrumentierung und Besonderheiten, synthetische Instrumente, System-on-Chip- / System-In-Package-Test 10 Testfreundlicher Entwurf (Design for Testability) Begriff, Kosten, Standardisierung, Systematik der Verfahren, Ad-hoc-Methoden, Stimulusgenerierung und Signaturanalyse, Prüfpfadverfahren, Selbsttest
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Wissen die wesentlichen Geräte und Komponenten für den Produktionstest integrierter Schaltungen nennen und erläutern Verstehen • Prüfergebnisse als wahrscheinlichkeitsbehaftete Aussagen verstehen • technische und wirtschaftliche Erfordernisse beim Halbleitertest erläutern und entsprechende Abwägungen darstellen • technisch-wirtschaftliche Kenngrößen definieren und deren Zusammenhänge darstellen • Fehlermodelle beschreiben und deren Bedeutung für die Testsynthese darstellen • Verfahren zur automatischen Testmustererzeugung unterscheiden und beschreiben • Funktionsprinzip von Testsystemen und deren Komponenten erläutern • Komponenten der Testsignalbeschreibung zusammenstellen • Methoden des prüffreundlichen Entwurfs darstellen Anwenden • Vorgänge "Messen" und "Prüfen" voneinander abgrenzen und den Zusammenhang zwischen Meßunsicherheit und Irrtumsrisiko erklären • Mittelwerte und Streuwerte aus Meßdaten schätzen und für diese Konfidenzintervalle zu gegebener Irrtumswahrscheinlichkeit angeben • die Unsicherheit von aus meßunsicherkeitsbehafteten Anfangsgrößen berechneten Ergebnissen berechnen • sich der Denkfallen beim Schließen aus statistischen Aussagen bewußt sein • Prüfsignale anhand der Kriterien für kohärentes Testen definieren Analysieren

		• Fehler in technischen Produkten hinsichtlich Entstehung und Auswirkung klassifizieren • Testvorgänge an integrierten Schaltungen klassifizieren und zugehörige Randbedingungen nennen • Begriffe Defekt" (defect), Fehler" (fault), Irrtum" (error), Ausfall" (failure) am Beispiel Halbleitertest voneinander abgrenzen • Abläufe bei Halbleitertests hinsichtlich verschiedener Kriterien (hierarchisch) strukturieren und unterscheiden • Testsysteme und deren Architekturen hinsichtlich verschiedener Kriterien klassifizieren Evaluieren (Beurteilen) • technische und wirtschaftliche Bedeutung des Tests im Vergleich zu weiteren Bereichen der Halbleiterindustrie zutreffend einschätzen • Prüfkriterien anhand angestrebter Qualitätsanforderungen (Testschlupf) aufstellen • Testschwellen im Hinblick auf Minimierung einer Irrtumswahrscheinlichkeit wählen Erschaffen (keine) Lern- bzw. Methodenkompetenz Lernziele hinsichtlich Lern- und Arbeitsmethoden: Hypothesen statistisch prüfen, wahrscheinlichkeitsbehaftete Aussagen interpretieren Selbstkompetenz Lernziele hinsichtlich persönlicher Weiterentwicklung: Schlüsse aus statistischen Aussagen und Ergebnissen hinterfragen diesen kritisch begegnen Sozialkompetenz Lernziele hinsichtlich des Umgangs mit Menschen: • Übungsaufgabenstellungen gemeinsam in Kleingruppen lösen
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german

1	Module name 48440	Machine Learning in Signal Processing Machine learning in signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis	
5	Contents	This course is an introduction into machine learning and artificial intelligence. The special emphasis is on applications to modern signal processing problems. The course is focused on design principles of machine learning algorithms. The lectures start with a short introduction, where the nomenclature is defined. After this, probabilistic graphical models are introduced and the use of latent variables is discussed, concluding with a discussion of hidden Markov models and Markov fields. The second part of the course is about deep learning and covers the use of deep neural networks for machine learning tasks. In the last part of the lecture, the use of deep neural networks for speech processing tasks is introduced. The course is based on the materials and video footage from Dr. Roland Maas. He is an outstanding machine learning expert and a former member of the Chair of Multimedia Communications and Signal Processing.	
6	Learning objectives and skills	After attending the lecture, students will be able to • understand regression and classification problems • apply PDF estimation algorithms • understand Gaussian mixture models and expectation-maximization • apply principal component analysis and independent component analysis • assess different estimation algorithms • explain the application of machine learning to system identification • apply hidden Markov models • understand different artificial neural network architectures • explain deep learning principles • apply artificial neural networks • devise learning strategies for deep neural networks • assess the application of deep neural networks for speech processing tasks.	
7	Prerequisites	None	
8	Integration in curriculum	semester: 1	
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222	

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literature: • C. M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, http://www.research.microsoft.com/en-us/um/people/cmbishop/PRML • S. Theodoridis and K. Koutroumbas: Pattern Recognition • M. Nielsen: Neural Networks and Deep Learning.

1	Module name 93601	Information Theory and Coding / Informationstheorie und Codierung Information theory and coding	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Informationstheorie und Codierung - Übung (1 SWS) Vorlesung: Informationstheorie und Codierung (3 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Johanna Fröhlich Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller
5	Contents	1. Introduction: binomial distribution, (7,4)-Hamming code, parity-check matrix, generator matrix 2. Probability, entropy, and inference: entropy, conditional probability, Bayes law, likelihood, Jensens inequality 3. Inference: inverse probability, statistical inference 4. The source coding theorem: information content, typical sequences, Chebychev inequality, law of large numbers 5. Symbol codes: unique decidability, expected codeword length, prefix-free codes, Kraft inequality, Huffman coding 6. Stream codes: arithmetic coding, Lempel-Ziv coding, Burrows-Wheeler transform 7. Dependent random variables: mutual information, data processing lemma 8. Communication over a noisy channel: discrete memory-less channel, channel coding theorem, channel capacity 9. The noisy-channel coding theorem: jointly-typical sequences, proof of the channel coding theorem, proof of converse, symmetric channels 10. Error-correcting codes and real channels: AWGN channel, multivariate Gaussian pdf, capacity of AWGN channel 11. Binary codes: minimum distance, perfect codes, why perfect codes are bad, why distance isnt everything 12. Message passing: distributed counting, path counting, low-cost path, min-sum (=Viterbi) algorithm 13. Exact marginalization in graphs: factor graphs, sum-product algorithm 14. Low-density parity-check codes: density evolution, check node degree, regular vs. irregular codes, girth 15. Lossy source coding: transform coding and JPEG compression -- 1. Einleitung: Binomialverteilung, (7,4)-Hamming-Code, Paritätsmatrix, Generatormatrix 2. Wahrscheinlichkeit, Entropie und Inferenz: Entropie, bedingte Wahrscheinlichkeit, Bayessches Gesetz, Likelihood, Jensensche Ungleichung 3. Inferenz: Inverse Wahrscheinlichkeit, statistische Inferenz 4. Das Quellencodierungstheorem: Informationsgehalt, typische Folgen, Tschebyschevsche Ungleichung, Gesetz der großen Zahlen

		5. Symbolcodes: eindeutige Dekodierbarkeit, mittlere Codewortlänge, präfixfreie Codes, Kraftsche Ungleichung, Huffman-codierung 6. Stromcodes: arithmetische Codierung, Lempel-Ziv-Codierung, Burrows-Wheeler-Transformation 7. Abhängige Zufallsvariablen: Transinformation, Datenverarbeitungslemma 8. Kommunikation über gestörte Kanäle: diskreter gedächtnisloser Kanal, Kanalcodierungstheorem, Kanalkapazität 9. Das Kanalcodierungstheorem: verbundtypische Folgen, Beweis des Kanalcodierungstheorems, Beweis des Umkehrsatzes, symmetrische Kanäle 10. Fehlerkorrigierende Codes und reale Kanäle: AWGN-Kanal, mehrdimensionale Gaußsche WDF, Kapazität des AWGN-Kanals 11. Binäre Codes: Minimaldistanz, perfekte Codes, Warum perfekte Codes schlecht sind, Warum Distanz nicht alles ist 12. Nachrichtenaustausch: verteiltes Zählen, Pfadzählen, günstigster Pfad, Minimumsummenalgorithmus 13. Exakte Marginalisierung in Graphen: Faktorgraph, Summenproduktalgorithmus 14. LDPC-Codes: Dichteevolution, Knotenordnung, reguläre und irreguläre Codes, Graphumfang 15. Verlustbehaftete Quellencodierung: Transformationscodierung und JPEG-Kompression
6	Learning objectives and skills	The students apply Bayesian inference to problems in both communications and everyday's life. The students explain the concept of digital communications by means of source compression and forward-error correction coding. For the design of communication systems, they use the concepts of entropy and channel capacity. They calculate these quantities for memoryless sources and channels. The students prove both the source coding and the channel coding theorem. The students compare various methods of source coding with respect to compression rate and complexity. The students apply source compression methods to measure mutual information. The students factorize multivariate functions, represent them by graphs, and marginalize them with respect to various variables. The students explain the design of error-correcting codes and the role of minimum distance. They decode error-correcting codes by means of maximum-likelihood decoding and message passing. The students apply distributed algorithms to problems in both communications and everyday's life. The students improve the properties of low-density parity-check codes by widening the girth and/or irregularity in the degree distribution. The students transform source images into the frequency domain to improve lossy compression. --

		Die Studierenden wenden Bayessche Inferenz auf Probleme in der Nachrichtentechnik und im Alltagsleben an. Die Studierenden erklären die konzeptuelle Trennung von digitaler Übertragung in Quellen- und Kanalcodierung. Kommunikationssysteme entwerfen sie unter Betrachtung von Entropie und Kanalkapazität. Sie berechnen diese Größen für gedächtnislose Quellen und Kanäle. Die Studierenden beweisen sowohl das Quellen- als auch das Kanalcodierungstheorem. Die Studierenden vergleichen verschiedenartige Quellencodierungsverfahren hinsichtlich Komplexität und Kompressionsrate. Die Studierenden verwenden Quellencodiervverfahren zur Messung von Transinformation. Die Studierenden faktorisieren Funktionen mehrerer Veränderlicher, stellen diese als Graph dar und marginalisieren sie bezüglich mehrerer Veränderlicher. Die Studierenden erklären den Entwurf von Kanalcodes und den Einfluss der Minimaldistanz. Sie decodieren Kanalcodes gemäß maximaler Likelihood und Nachrichtenaustausch. Die Studierenden wenden verteilte Algorithmen auf Probleme der Nachrichtentechnik und des Alltagslebens an. Die Studierenden verbessern die Eigenschaften von LDPC-Codes durch Erhöhung des Umfangs und/oder durch irreguläre Knotenordnungsverteilungen. Die Studierenden transformieren Bildquellen zur Verbesserung verlustbehafteter Kompression in den Frequenzbereich.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

16	Bibliography	MacKay, D.: Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

1	Module name 96010	Architekturen der digitalen Signalverarbeitung Architectures for digital signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übungen zu Architekturen der Digitalen Signalverarbeitung (2 SWS) Vorlesung: Architekturen der Digitalen Signalverarbeitung (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Sebastian Peters Timo Maiwald	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	Inhalt: • Basis-Algorithmen der Signalverarbeitung (FFT, Fensterung, Digitale FIR- und IIR-Filter) • Nichtideale Effekte bei Digitalfiltern (Quantisierung der Filterkoeffizienten, Quantisierte Arithmetik) • CORDIC-Architekturen • Architekturen für Multiraten-systeme (Abtastratenumsetzer) • Architekturen digitaler Signalgeneratoren • Maßnahmen zur Leistungssteigerung (Pipelining) • Architekturen digitaler Signalprozessoren • Anwendungen Content: • Basic algorithms of signal processing (FFT, windowing, digital FIR and IIR-filters) • Non-idealities of digital filters (quantization of filter coefficients, fixed-point arithmetic) • CORDIC-architectures • Architectures of systems with multiple sampling rates (conversion between different sampling rates) • Digital signal generation • Measures of performance improvement (pipelining) • Architecture of digital signal processors • Applications
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Grundlagenkenntnisse der Signaltheorie und können zeit- und wertkontinuierliche sowie zeit- und wertdiskrete Signale im Zeit- und Frequenzbereich definieren und erklären Die Studierenden sind in der Lage, ein klassisches Echtzeitsystem zur digitalen Signalverarbeitung konzeptionieren und die Einzelkomponenten nach den Anforderungen zu dimensionieren Die Studierenden erlangen einen Überblick über Vor- und Nachteile analoger sowie digitaler Signalverarbeitung Die Studierenden verstehen die Theorie der Fourier-Transformation und sind in der Lage, die Vorteile der Fast-Fourier-Transformation in der digitalen Signalverarbeitung zu verstehen und anzuwenden Die Studierenden können digitale Filter dimensionieren und beurteilen ===Englisch=== Students

		• can obtain fundamentals of signal theory and can define as well time-continuous and value-continuous as time-discrete and value-discrete signals in time and frequency domain • can construct a realtime digital signal processing system and dimension its components according requirements • can review pros and cons of analogue versus digital signal processing • can apply fourier transformation and illustrate the advantages of fast fourier transformation in the context of digital signal processing • can dimension digital filters and evaluate their performance
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination (60 minutes) Klausur (E-Exam 60 Min.)
11	Grading procedure	Electronic examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96030	Medizinelektronik Medical electronics	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Medizinelektronik - Übung / Medical Electronics Exercises (2 SWS) Vorlesung: Medizinelektronik - Medical Electronics (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Ouadie Touijer Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	The Lecture and exercise deals with the following topics: • Electronics for medical diagnostics and therapy • Challenges for medical engineering from demographic development and epidemiology of common diseases • Concepts for chronic disease management and elderly care • Regulatory framework of circuit design for medical devices • Circuit design of standard medical equipment ECG, EEG, EMG, SpO2 • Sensor principles and circuit design for biosignal acquisition • Analog-digital balance • Energy management for medical devices • Body near energy harvesting • Health data transmission • Electronic systems for ambient assisted living (AAL) • Circuit technology for lab-on-chip and microelectromechanical systems (MEMS) • Circuit technology for implants and wearable systems
6	Learning objectives and skills	Students will gain • Substantial knowledge on principles of circuit design for medical electronic devices • Substantial knowledge on circuit design for standard medical devices, e.g. ECG, EEG, EMG • Substantial knowledge on design of medical sensors • Substantial knowledge on system design for health assistance systems, wearable medical devices and implants • Ability to analyze circuit diagrams of medical electronic devices • Ability to separate medical electronic devices into their subfunctions • Ability to analyze energy budget of medical devices, particularly wearable systems • Basic ability to design electronic circuits to comply with regulatory requirements
7	Prerequisites	Completion of the modules "Circuit design" ("Schaltungstechnik") or "Electronics and circuit design" ("Elektronik und Schaltungstechnik") is recommended before attending the course.
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination
11	Grading procedure	Electronic examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96090	Digitale elektronische Systeme Digital electronic systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Digitale elektronische Systeme (3 SWS) Übung: Übungen zu Digitale elektronische Systeme (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Torsten Reißland Albert-Marcel Schrotz Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel
5	Contents	• Analog-Digital-Umsetzer: Qualitätsmerkmale, Messtechnik, Hardwarearchitekturen • Digital-Analog-Umsetzer: Qualitätsmerkmale, Messtechnik, Hardwarearchitekturen • Programmierbare Logikschaltungen (PLD, FPGA): Grundlegende Konzepte, Kategorien, Hardwarearchitekturen • Digitale-Filter: Theorie, Eigenschaften, Entwicklung und Implementierung und IIR und FIR Filtern
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden verstehen die Hardwarearchitekturen und Funktionsweisen von Komponenten digitaler Elektronischer Systeme wie Digital-Analog-Umsetzer, Analog-Digital Umsetzer, PLDs und FPGAs und können diese erläutern • Die Studierenden Verstehen die Qualitätsmerkmale von Digitalen Elektronischen Komponenten, können diese auf konkrete Komponenten anwenden und somit die Qualität von digitalen Elektronischen Komponenten anhand der in Datenblättern typischer weise gegebenen Qualitätsmerkmale evaluieren • Die Studierenden können die Einflüsse von nichtidealen Bauelementen auf digitale elektronische Systeme analysieren • Die Studierenden verstehen die Funktion, die Eigenschaften, die Entwicklungsmethodik sowie die Implementierung von digitalen Filtern und könne diese erläutern
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96101	Integrierte Navigationssysteme Integrated navigation systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Jörn Thielecke	
5	Contents	1. Überblick • Von der Astronavigation zur Navigation mit Mikroelektronik • Messprinzipien & Positionsrechnung (Standlinien/-flächen) • Begriffsdefinitionen (s. US Federal Radionavigation Plan), Genauigkeit, Verfügbarkeit, Verlässlichkeit, Integrität, etc. • Systematische Strukturierung des Gebiets: siehe 2. bis 7. 2. Positions- und Lagebestimmung • Funkausbreitung und Funkortung (Beispiel WLAN) • Fingerabdruckverfahren • Lokalisierung mit Markovketten 3. Koppelnavigation (Tracking) mittels Trägheitsnavigation • Koordinatensysteme und ihre Einsatzgebiete • Mathematische Grundlagen, z.B. Quaternionen, Corioliseffekt • Strapdown Inertial Navigation Systems • Sensorprinzipien und Trägheitssensoren • Computergestützte Lösung der Navigationsgleichungen • System- und Fehlermodellierung im Zustandsraum • Das Kalmanfilter und Glättung mittels Retrodiktion 4. Seiteninformationen: Kinematik und Karten (kurze Übersicht) 5. Landmarken als lokaler Ortsbezug • Merkmalsbasierte Ortung z.B. mit Kamera oder UWB • Partikelfilter und Monte-Carlo-Integration 6. Integration von Navigationskomponenten: Sensordatenfusion • Fusionsarchitekturen: Beispiel GPS & Trägheitsnavigation 7. Einbettung von Navigationssystemen • Assisted GPS oder Location Based Service Anmerkung: Die Navigationsmethoden werden gleichermaßen anhand von Tafel- und Rechnerübungen (MATLAB) einstudiert	
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, typische Navigationsverfahren hinsichtlich ihrer Funktionsweise und Einsetzbarkeit zu analysieren, zu bewerten und weiterzuentwickeln. 2. Die Studierenden lernen Navigationsgleichungen selbst aufzustellen, anzuwenden und mit unterschiedlichen Algorithmen auf dem Computer zu lösen. 3. Die Studierenden entwickeln ein Verständnis für die Herausforderungen bei der Integration unterschiedlicher Teilsysteme zu einem Navigationssystem und der Einbettung von Navigationssystemen in übergeordnete Systeme	

7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, geeignet für Masterstudium, grundlegende Kenntnisse erforderlich in: linearer Algebra, Physik, Signal- & System-theorie, Wahrscheinlichkeitstheorie.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral
11	Grading procedure	Written or oral (100%) Bei bestandener Prüfung wird die Note um eine Teilnotenstufe (z.B. von 2,0 auf 1,7) verbessert, wenn Sie mindestens 75% der Hausaufgaben einschließlich der Rechnerübungen erfolgreich absolviert haben. Eine Note besser als 1,0 wird nicht vergeben.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Lehrveranstaltung.

1	Module name 96200	Entwurf von Mixed-Signal-Schaltungen Design of mixed-signal circuits	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übungen zu Entwurf von Mixed-Signal-Schaltungen (2 SWS) Vorlesung: Entwurf von Mixed-Signal-Schaltungen (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Feim Ridvan Rasim Tobias Rumpel Xingzhou Chen Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler	

4	Module coordinator	Peter Meisel Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler
5	Contents	Es werden Methoden zur Analyse und Synthese von Phänomenen behandelt, welche aus sogenannten Rückkopplungen in gemischt analog-digitalen Systemen entstehen. Es wird an Hand eines allgemeinen Transistormodells abstrahiert, und Beispiele aus der Integrierten Schaltungs- und Systemtechnik erarbeitet. • Modellierung aktiver Bauelemente • Grundsaltungen des allgemeinen Transistors • Abstraktion der Rückkopplung • Analyse der Stabilität im Frequenz- und Zeitbereich • Kompensationstechniken im Frequenzbereich • Grundsaltungen von Rückkopplungen • Harmonische Verzerrungen • Rauschen • Beispiele von Rückkopplungen
6	Learning objectives and skills	Analysieren • Die Studierenden können die verschiedenste Strukturen für analoge integrierte Schaltungen entwickeln, analysieren und bewerten. Erschaffen • Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die wichtigsten Methoden und Verfahren für Analyse und Entwurf von analogen rückgekoppelten Schaltungen.
7	Prerequisites	Schaltungstechnik, Entwurf Integrierter Schaltungen I, o.ä.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Schriftliche Prüfung Dauer: 90 Minuten
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	G. Palumbo, S. Pennisi, Feedback Amplifiers, Theory and Design, Springer 2009

1	Module name 96500	Analoge elektronische Systeme Analogue electronic systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel
5	Contents	• Feldeffekttransistor • Verstärker, Leistungsverstärker • Nichtlinearität und Verzerrung • Filtertheorie • Realisierung von Filtern • Intrinsisches Rauschen (Konzepte) • Physikalische Rauschursachen • Rauschparameter • Mischer • Oszillatoren • Phasenregelschleifen (PLLs)
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden erlangen Kenntnisse um Rauscheffekte und Nichtlinearitäten in Analogschaltungen zu erklären • Die Studierenden verstehen die Ursachen verschiedener physikalischer Rauschprozesse und können diese klassifizieren • Die Studierenden erwerben die Fähigkeit zur Planung und Implementierung frequenzumsetzender Systeme mittels zugehöriger Frequenz- und Pegelpläne • Die Studierenden bewerten Hochfrequenzoszillatoren und stabilisierende PLL-Schaltungen • Die Studierenden untersuchen Messaufbauten zur Charakterisierung von Rauschen und Nichtlinearitäten • Die Studierenden analysieren den inneren Aufbau von Leistungsverstärkern auf Basis von Transistorschaltungen • Die Studierenden sind in der Lage komplexe Analogschaltungen simulativ und analytisch zu untersuchen und deren Verhalten im Groß- und Kleinsignalbereich zu charakterisieren • Die Studierenden führen Filterentwürfe durch und bestimmen deren Amplituden- und Phasengang • Die Studierenden können bei auftretenden Problemen selbstständig mit Hilfe weitergehender Literatur oder durch Diskussion in der Gruppe Lösungen erarbeiten
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

Specialization Networks and Digital Communication: Compulsory elective module EEI

1	Module name 43400	Entzerrung und adaptive Systeme in der digitalen Übertragung Equalisation and adaptive systems for digital communications	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker
5	Contents	Bei der digitalen Übertragung spielen Kanalverzerrungen aufgrund ständig steigender Datenraten eine immer grössere Rolle. Bei vielen Anwendungen müssen für eine zuverlässige Übertragung komplexe Entzerrverfahren eingesetzt werden. Dies gilt sowohl für die leitungsgebundene als auch die drahtlose Kommunikation. Z.B. werden in der xDSL-Systemfamilie (Digital Subscriber Lines), die eine schnelle digitale Übertragung über Ortsanschlussleitungen gewährleistet, oft entscheidungsrückgekoppelte Entzerrverfahren oder Vorcodierungsverfahren eingesetzt und beim Mobilfunkstandard GSM und seiner Weiterentwicklung EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) Maximum-Likelihood-Sequenzschätzung bzw. zustandsreduzierte Entzerrung. Eng im Zusammenhang mit der eigentlichen Entzerrung stehen Adaptionsverfahren, mit denen die Parameter des Entzerrers optimal an den Übertragungskanal angepasst werden können. Lernziel: Ziel der Vorlesung ist eine umfassende Darstellung gebräuchlicher Entzerrungs- und Adaptionsverfahren. Den Teilnehmern sollen fundierte Kenntnisse der verschiedenen Verfahren vermittelt werden, die sie zu deren sinnvollem Einsatz in der Praxis befähigen. Content: Channel distortions are playing an increasingly important role in digital transmission due to constantly increasing data rates. In many applications, complex equalization techniques must be used for a reliable transmission. This applies to both wired and wireless communication. For example, decision feedback equalization or precoding techniques are often used in the xDSL (Digital Subscriber Lines) system family, which ensures fast digital transmission over local subscriber loops, and the GSM system and its advanced version EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) employ maximum likelihood sequence estimation and state-reduced equalization. Closely related to the task of equalization are adaptation methods with which the parameters of the equalizer can be optimally adjusted to the transmission channel. Objective: The aim of the lecture is a comprehensive presentation of common equalization and adaptation methods. The participants should acquire an in-depth knowledge of the various procedures which enables them to make meaningful design decisions in practice.

6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • beschreiben verschiedene Verfahren zur Entzerrung frequenzselektiver Übertragungskanäle wie lineare Entzerrung, entscheidungsrückgekoppelte Entzerrung und Maximum-Likelihood-Sequenzschätzung, • setzen die verschiedenen Ansätze in Blockdiagramme um und optimieren deren Komponenten, • vergleichen Entzerrverfahren hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit, charakterisiert durch die Fehlerrate, und Komplexität, • wählen geeignete Verfahren für verschiedene Anwendungen wie leitungsgebundene und drahtlose Übertragung aus, • entwerfen neuartige Verfahren für gegebene Anforderungen, • formulieren Adaptionalgorithmen zur automatischen Anpassung des Empfängers eines Übertragungssystems an den Kanal, • ordnen Entzerrverfahren einen geeigneten Adaptionalgorithmus zu. Learning Objectives and Competences: The students - describe various methods for equalizing frequency-selective transmission channels such as linear equalization, decision feedback equalization and maximum likelihood sequence estimation, - realize various approaches in block diagrams and optimize their components, - compare equalization methods in terms of their performance, characterized by the error rate, and complexity, - select suitable methods for various applications such as wired and wireless transmission, - design novel schemes for given requirements, - formulate adaptation algorithms for automatic adaptation of the receiver of a transmission system to the channel, - assign suitable adaptation algorithms to equalization schemes.
7	Prerequisites	Vorkenntnisse in Systemtheorie und digitaler Signalverarbeitung, sowie entweder der Vorlesung Nachrichtentechnische Systeme oder Digitale Übertragung sind für die Teilnahme hilfreich.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral The examination is a 30-minute oral exam. The examination language is English.

11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Gerstacker, W.: Skriptum zur Vorlesung Entzerrung und adaptive Systeme in der digitalen Übertragung. Huber, J.: Trelliscodierung, Springer Verlag, Berlin, 1992. Benedetto, S., Biglieri, E.: Principles of Digital Transmission with Wireless Applications, Kluwer Academic Publishers, New York, 1999. Proakis, J. G.: Digital Communications. McGraw-Hill, New York, 3. ed., 1995. Haykin, S.: Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 3. ed., 1996.

1	Module name 43420	Transmission and Detection for Advanced Mobile Communications Transmission and detection for advanced mobile communications	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Transmission and Detection for Advanced Mobile Communications (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker
5	Contents	The aim of this lecture is that the students acquire a basic knowledge of advanced transmission and detection techniques which are relevant to practical mobile communications systems. In the first part, it is shown how equalization schemes like decision-feedback equalization (DFE) and maximum-likelihood sequence estimation (MLSE) can be applied to the GSM/EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) standard. Also, channel estimation for GSM/EDGE is covered. In GSM/EDGE, disturbance by interfering signals of other users is a further major problem. Therefore, interference cancellation algorithms are discussed in detail. The cases of several receive antennas and one receive antenna (single antenna interference cancellation) are distinguished. Several receive antennas can be also utilized for increasing the robustness against fading, applying diversity combination techniques. In the case of the availability of several transmit antennas only, additional space-time coding has to be used for realization of diversity gains. These aspects are also discussed in depth. Furthermore, an introduction to code-division multiple access (CDMA) transmission is given and it is shown how CDMA is applied in the UMTS system. The lecture is concluded by an introduction to digital transmission in the Long Term Evolution (LTE) system.
6	Learning objectives and skills	The students • describe basic equalization algorithms such as decision-feedback equalization (DFE) and maximum-likelihood sequence estimation (MLSE), • apply equalization algorithms to the GSM / Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) mobile communication system, • formulate channel estimation methods for mobile communication systems, • characterize the interference problem in GSM / EDGE, - design interference suppression schemes for GSM/EDGE for receivers with a single antenna (single antenna interference cancellation) and multiple antennas, respectively, • characterize the performance of mobile communication networks for different reception schemes, • devise receivers for the realization of diversity gains for multiple receive antennas, • design space-time coding schemes for the realization of diversity gains for multiple transmit antennas,

		• describe transmission schemes which are based on code-division multiple access (CDMA), • apply reception techniques for CDMA to the UMTS system, • characterize the uplink transmission in the Long Term Evolution (LTE) system, • develop receivers for LTE. Die Studierenden • beschreiben grundlegende Entzerrverfahren wie entscheidungsrückgekoppelte Entzerrung (Decision-Feedback Equalization, DFE) und Maximum-Likelihood-Sequenzschätzung (Maximum-Likelihood Sequence Estimation, MLSE), • wenden Entzerrverfahren auf das GSM/EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) Mobilfunksystem an, • formulieren Kanalschätzverfahren für Mobilfunksysteme, • charakterisieren das Interferenzproblem bei GSM/EDGE, • entwerfen Interferenzunterdrückungsverfahren für GSM/EDGE für Empfänger mit einer Antenne (Single Antenna Interference Cancellation) und mehreren Antennen, • bewerten die Leistungsfähigkeit von Mobilfunknetzen bei Einsatz verschiedener Empfangsverfahren, • konzipieren Empfänger zur Realisierung von Diversitätsgewinnen bei empfangsseitiger Antennendiversität • entwerfen Space-Time-Codiervverfahren zur Realisierung von Diversitätsgewinnen bei sendeseitiger Antennendiversität, • beschreiben auf Code-Division Multiple Access (CDMA) basierende Übertragungsverfahren, • wenden Empfangsverfahren für CDMA auf das UMTS-System an, • charakterisieren die Aufwärtsstrecke von Long Term Evolution (LTE), • entwerfen Empfänger für LTE.
7	Prerequisites	Systemtheorie, Nachrichtenübertragung
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Oral exam, 30 minutes.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester

15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Lecture notes

1	Module name 43460	Satellitenkommunikation Satellite communication	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übung Satellitenkommunikation (2 SWS) Vorlesung: Satellitenkommunikation (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Marcelo Michael Dr. Christian Rohde	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger
5	Contents	Nach einem historischen Rückblick zur Entwicklung der Satellitenkommunikation werden die einzelnen Komponenten eines typischen Gesamtsystems (Boden- und Raumsegment) näher betrachtet. Hierzu zählt der prinzipielle Aufbau von Trägerraketen, von Satelliten (Satellitenplattformen, Subsysteme, Nutzlasten), die meist genutzten Umlaufbahnen und die verschiedenen Kommunikationsverbindungen (Uplink, Downlink, Inter-Satellite-Link). Die Besonderheiten der Signalausbreitung und -übertragung über große Entfernungen zwischen Bodenstationen und Satelliten werden erklärt und mit Beispielen ergänzt. Dabei wird insbesondere eingegangen auf verwendete Frequenzen, Signaldispersion und -dämpfung, atmosphärische Effekte sowie Störeinflüsse der Weltraumumgebung. Die Architektur transparenter und regenerativer Kommunikationseinheiten wird ausführlich an Beispielen kommerziell verfügbarer Transponder und Onboard-Prozessoren erklärt. Die Prinzipien moderner, standardisierter Verfahren zur Signalaufbereitung und Übertragung von Video-/Bild und Audiosignalen über Satellit (z.B. MPEG, H.264/265, DVB-S/-S2/-S2X) werden erläutert und diskutiert. Dies umfasst Verfahren zur Quellencodierung, Kanalcodierung und Modulation, Kanalzugriff und -diversität. Außerdem wird auf die im Orbit und im kommerziellen Einsatz befindlichen Kommunikationssatelliten und der damit verbundenen großen Dienstvielfalt eingegangen wie z.B. bei TV- und Breitbandversorgung sowie in Mobilkommunikationssystemen. Abschließend werden einige Herausforderungen und Forschungsansätze im Zusammenhang mit den neuen Megakonstellationen und Next Generation High Throughput Satellites (HTS) für zukünftige Satellitensysteme vorgestellt. Die in der Vorlesung behandelten physikalischen, elektro- und nachrichtentechnischen Zusammenhänge werden in den ergänzenden Übungen mit Rechenbeispielen vertieft. Gliederung der Vorlesung: 1. Einführung: Überblick über die Hauptkomponenten, Satelliten, Anwendungen und Dienste, sowie Orbits, Aufgaben und Frequenzen der Satellitennetze 2. Historie der Satellitenkommunikation: Wichtige Meilensteine, Entwicklung in Europa und Deutschland 3. Orbits und Konstellationen:

Keplersche Gesetze, Beschreibung von Orbits, verwendete Umlaufbahnen, Bodenspuren, erreichbare Abdeckung

4. Trägersysteme:

Trägerraketen, Entwicklung, Anbietermarkt, Nutzlastfähigkeit, Startplätze, Startverlauf

5. Satellitenaufbau:

Auswahl aktueller Satellitenplattformen, Satellitenaufbau, Plattformkomponenten, Montageschritte und Tests

6. Satellitennutzlast (Payload):

Komponenten, Industrielle Beispiele, Aufbau und Aufgaben der Payload, Transponderarchitekturen, Antennen

7. Signalausbreitung und Leistungsbilanz:

Signalausbreitung, Freiraumverluste, Signaldämpfung, Rauschen, Signal-Rausch-Verhältnis, Linkbudget

8. Weltraumumgebung: Weltraumumgebungsbedingungen, Einflüsse auf den Satelliten und die Elektronik der Nutzlast

9. Quellencodierung:

Audio-, Bild- und Videokompression des Content des Satellitenfernsehens

10. Signalmodulation und Kanalcodierung:

Signalkonstellationen, Modulation und Codes zur Fehlerkorrektur

11. Diversitäts- und Zugriffsverfahren:

Medium Access, Duplextechniken, Multiplexmethoden, Diversitätstechniken

12. Moderne Satellitenkommunikationssysteme:

Rundfunksysteme wie Sirius XM Satellite Radio, zellulare Internetversorgung mittels Satellitenkommunikation

13. Neueste Themen aus Forschung und Entwicklung

SatKom auf StudOn: <http://www.studon.uni-erlangen.de/crs117969.html>

After a historical retrospective about the developments in satellite communication, the core components of a typical satellite system (ground- and space-segment) are introduced. The principles and architectures of rockets/ carriers, satellites (platform, subsystems, payload), used orbits, and the various communication links (uplink, downlink, inter-satellite-link) are shown. The special features and properties of signal transmission over such large distances are explained and stuffed with examples. In particular, more details are provided on the used frequencies, signal dispersion and attenuation, atmospheric effects as well as impairments due to space environment. The architecture of transparent and regenerative communication payloads are described in detail, accompanied by corresponding examples of commercially used transponders and onboard-processors and their technology.

The principles of modern standardized methods for signal transmission and preparation of video-/image- and audio-signals via satellite, e.g., MPEG, H.264/265, DVB-S/-S2/-S2X, are illustrated and discussed.

		This includes methods for efficient source coding, channel coding and modulation, channel access and diversity schemes. Furthermore, the currently available communication satellites in orbit and the related variety of commercial services are introduced like, e.g., TV- and broadband services as well as mobile communication services and systems. Based on that, a few challenges and perspectives for research and development for future satellite systems are highlighted with respect to the upcoming new mega constellations and next generation high throughput satellites (HTS). The physical, electro-technical and communications concepts and schemes shown in the lectures are complemented by tutorials with sample calculations. Table of contents: 1. Introduction: Overview of main components, satellites, applications and services, orbits, tasks, frequencies, satellite networks 2. History of satellite communications: Major milestones, development in Europe and Germany 3. Orbits and constellations: Kepler's laws, description of orbits, orbits used, ground tracks, achievable coverage 4. Launcher systems: Launch vehicles, providers, payload capabilities, launch sites, launch history 5. Satellite structure: Selection of current satellite platforms, satellite structure, platform components, assembly steps and tests 6. Payload: Components, structure and tasks of payload, transponder architecture, antennas 7. Signal propagation and link budget: Signal propagation, free space losses, signal attenuation, noise, signal to noise ratio, link budget 8. Space environment: Space environmental conditions, influences on the satellites and payload electronics 9. Source coding: Audio, image and video compression - the satellite TV broadcasting content 10. Signal modulation and channel coding: Signal constellations, modulation and error correction coding 11. Diversity and access schemes: Medium access, duplex methods, multiplex methods, diversity techniques 12. Modern satellite communications systems: Broadcasting systems like Sirius XM Satellite Radio, satellite cellular broadband communication 13. Latest topics in research and development
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden bekommen einen guten Überblick über alle Aspekte der Satellitenkommunikation inklusive Historie. • Die Studierenden lernen die weltweit führenden oder in Europa ansässigen Firmen und Organisationen kennen, die in den Bereichen Satellitenbau und -betrieb, Satellitendienste bzw. -anwendungen, sowie Forschung und Entwicklung tätig sind. • Die Studierenden können die Herausforderungen der Weltraumumgebung sowie Vor- und Nachteile verschiedener Orbits einschätzen und wichtige Kenngrößen berechnen

		- Die Studierenden lernen die Signalverarbeitungsschritte im Sender, Satelliten und Empfänger kennen - von der Audio/Video-Quelle über Link-Budget-Berechnungen bis zur Datensenke. - Die Studierenden lernen den Aufbau und wichtige Kenngrößen von Satelliten, Konstellationen und Launchern kennen und dabei verwendete Konzepte zu unterscheiden und zu klassifizieren bzgl. deren Vor- und Nachteilen.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (90 minutes) Klausur, 90min
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Skriptum zur Lehrveranstaltung

1	Module name 48440	Machine Learning in Signal Processing Machine learning in signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	This course is an introduction into machine learning and artificial intelligence. The special emphasis is on applications to modern signal processing problems. The course is focused on design principles of machine learning algorithms. The lectures start with a short introduction, where the nomenclature is defined. After this, probabilistic graphical models are introduced and the use of latent variables is discussed, concluding with a discussion of hidden Markov models and Markov fields. The second part of the course is about deep learning and covers the use of deep neural networks for machine learning tasks. In the last part of the lecture, the use of deep neural networks for speech processing tasks is introduced. The course is based on the materials and video footage from Dr. Roland Maas. He is an outstanding machine learning expert and a former member of the Chair of Multimedia Communications and Signal Processing.
6	Learning objectives and skills	After attending the lecture, students will be able to • understand regression and classification problems • apply PDF estimation algorithms • understand Gaussian mixture models and expectation-maximization • apply principal component analysis and independent component analysis • assess different estimation algorithms • explain the application of machine learning to system identification • apply hidden Markov models • understand different artificial neural network architectures • explain deep learning principles • apply artificial neural networks • devise learning strategies for deep neural networks • assess the application of deep neural networks for speech processing tasks.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literature: • C. M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, http://www.research.microsoft.com/en-us/um/people/cmbishop/PRML • S. Theodoridis and K. Koutroumbas: Pattern Recognition • M. Nielsen: Neural Networks and Deep Learning.

1	Module name 92400	Optische Übertragungstechnik Optical communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Optische Übertragungstechnik Übung (2 SWS) Vorlesung: Optische Übertragungstechnik (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Esther Renner Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß
5	Contents	Kommerzielle Optische Kommunikationssysteme erreichen pro Faser Übertragungskapazitäten von mehreren Tbit/s. Im Labor wurden mehr als 100Tbit/s nachgewiesen. Die Realisierung derartiger Systeme setzt die Beherrschung verschiedenster Techniken der optischen Übertragungstechnik voraus. In der Vorlesung werden Techniken des Zeitbereichs - (TDM) und Wellenlängenmultiplex (WDM), aber besonders auch der Auslegung der Übertragungsstrecke (Link Design) auf der Basis entsprechender physikalischer und signaltheoretischer Grundlagen behandelt und vertieft. Dabei werden Verfahren besprochen, die sicherstellen, dass sowohl die Signalverzerrungen durch lineare und nichtlineare Fasereffekte als auch die Akkumulation des Verstärkerrauschens begrenzt bleiben. Es wird ausführlich die Systemoptimierung hinsichtlich des optischen Signal-Rausch-Verhältnisses (OSNR) diskutiert sowie auf Techniken des Dispersions- und Nichtlinearitätsmanagements (z.B. Solitonenübertragung) eingegangen. Hierbei wird dem Themenkomplex einer optimalen Streckenauslegung besonders eingehend behandelt. In der Folge werden verschiedene, gebräuchliche Modulationsverfahren einschließlich kohärenter Übertragungsverfahren behandelt, die in neueren Systemen eingesetzt und in experimentellen Systemen getestet werden. Eine Besprechung optischer Verfahren zur Signalregeneration bildet die Brücke zu aktuellen eigenen Forschungsarbeiten. Die vermittelten Grundlagen werden in der Übung zur Vorlesung durch praxisnahe und anschauliche Simulationsbeispiele vertieft.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • besitzen spezialisiertes und vertieftes Wissen über die Konzeption und Struktur verschiedener optischer Übertragungssysteme. • können die Qualität optischer Datensignale im Kontext verschiedener Systemkonzepte vergleichen und bewerten • sind in der Lage Streckenauslegungen zu entwickeln und zu optimieren. • besitzen methodische Kenntnis zur Bestimmung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit optischer Übertragungsstrecken unter Einbeziehung aktueller wissenschaftlicher Ergebnisse.
7	Prerequisites	Komponenten optischer Kommunikationssysteme hilfreich aber nicht obligatorisch

8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Agrawal, G.P.: Fiber-Optic Communication Systems, John Wiley & Sons, 1997 Agrawal, G.P.: Nonlinear Fiber Optics, John Wiley & Sons, 3. Auflage, 2001 Kaminow, I, Koch, T.: Optical Fiber Telecommunications IVA, Academic Press, 2002 Skriptum zur Vorlesung Kaminow, I, Li, T., Willner, A.: Optical Fiber Telecommunications VA, Academic Press, 2008

1	Module name 92730	Kommunikationselektronik Communications electronics 1	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Kommunikationselektronik (2 SWS) Vorlesung: Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS) Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (2 SWS) Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS)	5 ECTS 5 ECTS - -
3	Lecturers	Sebastian Klob Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert Marcelo Michael	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert
5	Contents	1. Einleitung 2. Darstellung von Signalen und Spektren • Kontinuierliche und diskrete Signale • Spektrum eines Signals • Unterabtastung und Überabtastung 3. Aufbau und Signale eines Software Defined Radio Systems • Blockschaltbild eines Software Defined Radio Systems • Basisband- und Trägersignale • Empfänger-Topologien • Signale in einem Software Defined Radio System 4. Drahtlose Netzwerke 5. Übertragungsstrecke • Funkstrecke • Antennen 6. Leistungsdaten eines Empfängers • Rauschen • Nichtlinearität • Dynamikbereich eines Empfängers 7. Digital Downconverter • CIC-Filter • Polyphasen-FIR-Filter • Halbband-Filterkaskade • Interpolation 8. Demodulation digital modulierter Signale • Einführung • Demodulation einer GFSK/PAM-Paketsendung Das Modul Kommunikationselektronik behandelt Aspekte der Schaltungstechnik und der Signalverarbeitung drahtloser Übertragungssysteme, die als sog. "Software Defined Radio" Systeme aufgebaut sind. Als Beispiel dient der Empfänger eines einfachen Telemetrie-Systems, der von der Antenne bis zum Nutzdatenausgang behandelt wird. Schwerpunkte bilden der Aufbau und die Eigenschaften der Hardware des Empfängers sowie die Algorithmen zum Empfang von Telemetrie-Signalen. Dabei wird ein typisches System mit Hilfe eines miniaturisierten Empfängers und einer Verarbeitung mit dem MATLAB-

		kompatiblen Mathematikprogramm Octave implementiert. Die benötigte Software wird den Studierenden zur Verfügung gestellt. Content: 1. Introduction 2. Signal representation and discrete signals a. Continuous and discrete signals b. Signal spectrum c. Downsampling and upsampling 3. Structure and signals of a Software Defined Radio a. Block diagram of a Software Defined Radio b. Base band signals and carrier signals c. Receiver topologies d. Signals in a Software Defined Radio 4. Wireless networks 5. Transmission path a. Radio link b. Antennas 6. Performance data of a receiver a. Noise b. Nonlinearities c. Dynamic range of a receiver 7. Digital Down Converter a. CIC filter b. Polyphase FIR filter c. Halfband filter cascade d. Interpolation 8. Demodulation of digital modulated signals a. Introduction b. Demodulation of a GFSK/PAM packet transmission The module Communication Electronics deals with aspects of circuitry and signal processing of wireless communication systems, built up as so-called "Software Defined Radio systems. A receiver of a simple telemetry system serves as an example, being examined starting from its antenna to the user data output. The focus lies on the structure and the characteristic of the receivers hardware as well as the algorithms for the reception of telemetry signals. A typical system is implemented using a miniaturized receiver and processing with the MATLAB-compatible Octave math program. The required software is provided to the students.
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden verstehen die grundlegende Funktionsweise eines Software Defined Radio (SDR) Systems, d.h. sie verstehen die Funktionsweise der einzelnen Signalverarbeitungsschritte sowie die auftretenden Signale selbst. 2. Die Studierenden analysieren die Leistungsfähigkeit der analogen Komponenten eines SDR Systems und können Verfahren zur Optimierung dieser Komponenten selbständig anwenden.

		3. Die Studierenden analysieren die digitalen Verarbeitungsschritte ausgewählter Modulationsarten und können damit selbst die digitale Signalverarbeitung eines SDR Senders und Empfängers erschaffen. 1. The students will understand the basic operation of a Software Defined Radio (SDR) system, i.e. the students will understand how the individual signal processing steps work as well as the signals themselves. 2. The students analyze the performance of the analog components of an SDR system and are able to apply procedures for optimizing these components independently. 3. The students analyse the digital processing steps of selected modulation types and are able to create the digital signal processing of an SDR transmitter and receiver themselves.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, grundlegende Kenntnisse im Bereich digitaler Signalverarbeitung werden vorausgesetzt
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Veranstaltung im StudON verfügbar: https://www.studon.fau.de/studon/goto.php?target=crs_117973

1	Module name 96030	Medizinelektronik Medical electronics	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Medizinelektronik - Übung / Medical Electronics Exercises (2 SWS) Vorlesung: Medizinelektronik - Medical Electronics (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Ouadie Touijer Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	The Lecture and exercise deals with the following topics: • Electronics for medical diagnostics and therapy • Challenges for medical engineering from demographic development and epidemiology of common diseases • Concepts for chronic disease management and elderly care • Regulatory framework of circuit design for medical devices • Circuit design of standard medical equipment ECG, EEG, EMG, SpO2 • Sensor principles and circuit design for biosignal acquisition • Analog-digital balance • Energy management for medical devices • Body near energy harvesting • Health data transmission • Electronic systems for ambient assisted living (AAL) • Circuit technology for lab-on-chip and microelectromechanical systems (MEMS) • Circuit technology for implants and wearable systems
6	Learning objectives and skills	Students will gain • Substantial knowledge on principles of circuit design for medical electronic devices • Substantial knowledge on circuit design for standard medical devices, e.g. ECG, EEG, EMG • Substantial knowledge on design of medical sensors • Substantial knowledge on system design for health assistance systems, wearable medical devices and implants • Ability to analyze circuit diagrams of medical electronic devices • Ability to separate medical electronic devices into their subfunctions • Ability to analyze energy budget of medical devices, particularly wearable systems • Basic ability to design electronic circuits to comply with regulatory requirements
7	Prerequisites	Completion of the modules "Circuit design" ("Schaltungstechnik") or "Electronics and circuit design" ("Elektronik und Schaltungstechnik") is recommended before attending the course.
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination
11	Grading procedure	Electronic examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96260	Integrierte Schaltungen für Funkanwendungen	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Heinrich Milosiu
5	Contents	• Transceiver-Architekturen • Hochfrequenzaspekte • Transistoren und Technologien • Passive Bauelemente und Netzwerke • Rauscharme Vorverstärker • Mischer • Oszillatoren • Phasenregelschleifen und Synthesizer • Messtechnische Grundlagen
6	Learning objectives and skills	Nach der Teilnahme an den Modulveranstaltungen sind die Studierenden in der Lage: • Den Aufbau sowie Vor- und Nachteile von Transceiver-Architekturen zu verstehen • Hochfrequenzaspekte von Transistoren und Schaltungen zu analysieren • Geeignete Integrationstechnologien auszuwählen • Passive Bauelemente und Netzwerke zu verstehen und anzuwenden • Schaltungstopologien rauscharmer Vorverstärker, Mischer, Oszillatoren anzuwenden und zu analysieren
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Klausur, 90min
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96270	Kanalcodierung Channel coding	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Channel Coding (4 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer
5	Contents	1) Introduction and Motivation 2) Fundamentals of Block Coding 3) Introduction to Finite Fields I 4) Linear Block Codes 5) Linear Cyclic Codes 6) Introduction to Finite Fields II 7) BCH and RS Codes 8) Convolutional Codes 9) Codes with Iterative Decoding
6	Learning objectives and skills	Das Modul Kanalcodierung umfasst eine Einführung in die Grundlagen der algebraischen, fehlerkorrigierenden Blockcodes sowie einen Einstieg in die Thematik der Faltungscodes. Iterativ decodierte Codeschemata wie Turbo-Codes und LDPC-Codes werden ebenfalls eingeführt. Im Einzelnen sind die Inhalte oben aufgeführt. Die Studierenden definieren die Problematik der Kanalcodierung, grenzen sie von anderen Codierv Verfahren (z.B. der Quellencodierung) ab und kennzeichnen die unterschiedlichen Ansätze zur Fehlerkorrektur und -erkennung. Sie nennen Beispiele für Einsatzgebiete von Kanalcodierung und geben einen Überblick über die historische Entwicklung des Fachgebiets. Die Studierenden erstellen Übertragungsszenarien für den Einsatz von Kanalcodierung bestehend aus Sender, Übertragungskanal und Empfänger und beachten dabei die Grundannahmen beim Einsatz von Blockcodes bzw. der Modellierung der Kanäle. Sie formulieren mathematische Beschreibungen der Encodierung sowie der optimalen Decodierung bzw. suboptimaler Varianten. Die Studierenden beherrschen die Grundlagen fehlerkorrigierender linearer Blockcodes, beschreiben diese mathematisch korrekt mittels Vektoren und Matrizen über endlichen Körpern und implementieren und bewerten zugehörige Encoder- und Decoderstrukturen insbesondere Syndromdecoder. Dabei modifizieren sie Generatormatrizen, ermitteln Prüfmatrizen und erstellen Syndromtabellen. Sie schätzen die minimale Hammingdistanz von Codes mittels Schranken ab und können den erzielbaren Codegewinn erläutern. Sie kennen und benutzen beispielhaften Codefamilien (z.B. Hamming-Codes, Simplex-Codes, Reed-Muller-Codes). Die Studierenden erkennen die Vorteile zyklischer linearer Blockcodes und beschreiben diese mit Polynomen über endlichen Körpern. Sie nutzen die Restklassenrechnung bzgl. Polynomen zur Umsetzung systematischer Encoder und zur Realisierung von Syndromdecodern mittels Schieberegisterschaltungen. Sie kennen beispielhafte Codefamilien.

Die Studierenden nutzen Primkörper, Erweiterungskörper, Minimalpolynome und Kreisteilungsklassen sowie die Spektraldarstellung über endlichen Körpern zur Realisierung von BCH- und Reed-Solomon-Codes gemäß der BCH-Schranke. Sie verstehen die Grundlagen der Decodierung von BCH- und Reed-Solomon-Codes. Sie skizzieren und erläutern die Kanalcodierkonzepte von CD und DVD. Die Studierenden erklären die Unterschiede von Faltungscodes und Blockcodes, skizzieren anhand von tabellierten Generatorpolynomen zugehörige Encoder und erläutern diese. Sie erklären die Funktionsweise des optimalen Decoders (MLSE) und demonstrieren diese beispielhaft.

Die Studierenden verstehen die Grundlagen der iterativen Decodierung, insbesondere wenden sie die Grundlagen des Information Combining zur Kombination von verschiedenen Beobachtungen an. Sie verstehen die Bedeutung von Log-Likelihood-Ratios bei iterativen Decodieruvorgängen und berechnen diese. Sie skizzieren die grundlegenden Encoder- und Decoderstrukturen von Turbo-Codes und die Grundzüge der Codierung mit LDPC-Codes u.a. der Decodierung mittels Belief Propagation.

Die Vorlesung erfolgt wechselweise auf Deutsch oder Englisch (Winter/Sommer). Die zur Verfügung gestellten Unterlagen sind ausschließlich in Englisch gehalten. Die Studierenden verwenden entweder die englischen Fachtermini sicher oder kennen diese und drücken sich sicher mit den entsprechenden deutschen Fachbegriffen aus.

Die Umsetzung der angegebenen Algorithmen in eine Programmiersprache (C, Matlab usw.) sollten die Studierenden zu diesem Zeitpunkt des Studiums üblicherweise beherrschen. Übungen hierzu bleiben der Eigeninitiative überlassen.

Students define the problems of channel coding, how to distinguish it from other coding methods (such as source coding) and how to describe the various different approaches to error correction and detection. They are able to list example application areas of channel coding and give an overview of the historical development of the field.

Furthermore, they describe and analyze transmission scenarios for the application of channel coding which consist of transmitter, transmission channel and receiver, taking into account the general assumptions for applying block codes or modeling the channels. They formulate mathematical descriptions of encoding, optimal decoding and sub-optimal methods.

Students illustrate the principles of error-correcting linear block codes and describe them mathematically using vectors and matrices over finite fields. They implement and analyze corresponding encoder and decoder structures, in particular syndrome decoders, and modify generator matrices, construct test matrices and create syndrome tables. They estimate the minimum Hamming distance of codes using bounds and are able to explain the coding gain that can be achieved in individual cases. They analyze and use example code families (e.g. Hamming codes, simplex codes, Reed-Muller codes).

		Students explain the advantages of cyclic linear block codes and how to describe them with polynomials over finite fields. They apply polynomial modular arithmetic to implement systematic encoders and realize syndrome decoders using shift register circuits. They know and use exemplary code families. Students use prime fields, extension fields, minimal polynomials and cyclotomic cosets, and spectral representation over finite fields to implement BCH and Reed-Solomon codes using the BCH bound. They understand the foundations of decoding BCH and Reed-Solomon codes and how to sketch and explain the channel coding concepts of CDs and DVDs. Students are able to describe the differences between convolutional codes and block codes, to sketch the respective encoders based on tabulated generator polynomials and to explain them. They are able to explain how optimal decoders (MLSE) work using examples. Students sketch the foundations of iterative decoding. In particular, they apply methods of information combining to combine different observations. They use and calculate log-likelihood ratios in iterative decoding processes, sketch the basic encoding and decoding structures of turbo codes and the basics of coding using LDPC codes (including decoding using belief propagation). Students either are able to use the English technical terms correctly or know them and are able to express themselves using the respective technical terms in German.
7	Prerequisites	Es ist hilfreich, wenn die Studierenden die erlernten Algorithmen in eine Programmiersprache (C, Matlab usw.) umsetzen können. It would be very helpful if the participants can implement the specified algorithms into a programming language (C, Matlab, etc.).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Die Prüfung ist eine 90-minütige schriftliche Klausur. Hilfsblatt, Taschenrechner: Sie können ein einzelnes A4-Blatt (Vorder- und Rückseite oder andere Blätter mit offensichtlich identischer Gesamtfläche) verwenden, um Ihre eigene, handschriftliche Formelsammlung aufzuschreiben. Sie können einen nicht programmierbaren Taschenrechner verwenden. The examination is a 90-minute written test.

		Cheat Sheet, Calculator: A single A4 sheet (front and back, or any other collection of sheets with an obviously identical total area size) can be used to write down your own handwritten collection of formulas, etc. You may also bring a non-programmable calculator.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	• J. Huber, R. Fischer, C. Stierstorfer: Folien zur Vorlesung • M. Bossert: Kanalcodierung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 3. Auflage, 2013 • M. Bossert: Channel Coding for Telecommunications, John Wiley & Sons, 1999 • B. Friedrichs: Kanalcodierung, Springer Verlag, 1996 • S.B. Wicker: Error Control Systems for Digital Communications and Storage, Prentice-Hall, 1995

1	Module name 96300	MIMO Communication Systems MIMO communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: MIMO Communication Systems (3 SWS) Übung: MIMO Communication Systems - Tutorial (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Hedieh Ajam Prof. Dr.-Ing. Robert Schober	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Schober
5	Contents	Modern communication systems employ multiple antennas at the transmitter and/or receiver creating a multiple-input multiple-output (MIMO) system. This course covers the fundamental mathematical and communication theoretical concepts necessary for the design and analysis of MIMO communication systems. Relevant topics include MIMO Channel Capacity, Receive Diversity, Transmit Diversity, Space-Time Coding, Spatial Multiplexing, MIMO Transceiver Design, Multi-user MIMO, Massive MIMO, Relay-based MIMO, and applications in modern communication systems.
6	Learning objectives and skills	The students • learn about different MIMO channel models, • analyze MIMO communication systems with respect to their channel capacity and reliability, • determine MIMO figures of merit such as coding gain, diversity gain, and multiplexing gain, • compare and evaluate different MIMO receiver designs, • characterize the rate region of multiuser systems, • analyze massive MIMO systems, • discuss the advantages and disadvantages of different relay network architectures. Die Studierenden • lernen verschiedene MIMO-Kanalmodelle kennen, • analysieren MIMO-Kommunikationssysteme hinsichtlich der Kanalkapazität und Zuverlässigkeit, • ermitteln MIMO-Kenngrößen wie Codierungsgewinn, Diversitätsgewinn und Multiplexgewinn, • vergleichen und beurteilen verschiedene MIMO-Empfangsstrategien, • charakterisieren die Ratenregion von Mehrteilnehmersystemen, • analysieren Massive-MIMO-Systeme, • diskutieren die Vor- und Nachteile verschiedener Relaisnetzwerkarchitekturen.
7	Prerequisites	Basic course in communications
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Written exam (Klausur), 90 minutes.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96312	Bild-, Video- und mehrdimensionale Signalverarbeitung Image, video and multidimensional signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	• ◦ Histogrammausgleich, Gamma-Korrektur • ◦ Morphologische Filter, Erosion, Dilatation, Opening, Closing • ◦ Trichromat, RGB- Farbraum, HSV-Farbraum • ◦ Theorie mehrdimensionaler Signale und Systeme, Impulsantwort, lineare Bildfilterung, Leistungsspektrum, Wiener Filter • ◦ Bilineare Interpolation, Bicubische Interpolation, Spline Interpolation • ◦ Bildmerkmale, Kantendetektion, Hough Transformation, Harris Ecken Detektor, Texturmerkmale, Grauwertematrix • ◦ LoG, DoG, SIFT, SURF • ◦ Projektive Abbildungen, Blockabgleich, Optischer Fluss, Merkmalsbasierter Abgleich mittels SIFT und SURF, RANSAC • ◦ Amplituden Schwellenwertermittlung, K-Means Clustering, Bayes Klassifikation, Regionen-basierte Segmentierung, kombinierte Segmentierung und Bewegungsschätzung, zeitliche Segmentierung von Videos • ◦ Unitäre Transformation, Karhunen-Loeve Transformation, separable Transformationen, Haar und Hadamard Transformation, DFT, DCT
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen Punktoperationen an Bilddaten und Gamma-Korrektur • testen die Wirkung von Rangordnungs- und Medianfiltern an Bilddaten • unterscheiden und bewerten verschiedene Farbräume für Bilddaten

		• erklären das Prinzip der zwei-dimensionalen linearen Filterung für Bildsignale • berechnen und bewerten die zweidimensionale diskrete Fourier-Transformierte eines Bildsignales • bestimmen vergrößerte diskrete Bildsignale mit Methoden der bilinearen und Spline-Interpolation • überprüfen Bilddaten auf ausgewählte Textur-, Kanten- und Bewegungsmerkmale • analysieren Bild- und Videodaten auf Merkmale in unterschiedlichen Scale-Spaces • erläutern und beurteilen Methoden für das Matching von Bilddaten • segmentieren Bilddaten durch Programmierung von einfachen Klassifikations- oder Clustering-Verfahren • verstehen das Prinzip von Transformation auf Bilddaten und können diese an Beispielen anwenden.
7	Prerequisites	Vorlesung Signale und Systeme I und II empfohlen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• J.-R. Ohm: [Multimedia Content Analysis], Springer, 2016 • J. W. Woods: [Multidimensional Signal, Image, and Video Processing and Coding], Academic Press, second edition, 2012

1	Module name 96410	Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik Circuits and Systems of Transmission Techniques	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übungen zu Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik (2 SWS) Vorlesung: Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Maximilian Lübke Victor Shatov Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	
5	Contents	Im Rahmen dieses Modules werden die Grundlagen und technische Ausführung Übertragungstechniken vermittelt. Fokus liegt dabei auf dem Automotivebereich. Elektrofahrzeuge werden nicht nur die heute bereits in der Oberklasse verfügbaren Fahrassistenzsysteme nutzen sondern weitere E-Mobility spezifische Anwendung insbesondere zur Energie- und Reichweitoptimierung. Drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinrichtungen, zwischen Fahrzeugen untereinander, genaue Ortung und Streckenprognose sowie autonomes energiesparendes Fahren mit Radar-Abstandsregelung spielen hier eine wichtige Rolle. In diesem Modul werden diese modernen Entwicklungen adressiert und die dafür notwendigen Grundlagen erarbeitet. Grundlagen: • Funkkanaleigenschaften • Modellierung • Modulation, Codierung, Vielfachzugriff Fahrzeugkommunikationssysteme: • Übertragungssysteme für die Fahrassistenz • Car-to-Car und Car-to-X-Kommunikation • Breitbandige In-Car-Datenübertragung Fahrzeugsensorik: • Fahrzeugortung (lokal und global) • Automobilradar und Umfeldüberwachung • Sensorische Erfassung von Bioparametern im Fahrzeug	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden sind nach der erfolgreichen Teilnahme am Modul in der Lage: Funkkanaleigenschaften und Modelle für spezifische Anwendungs- und Betriebsszenarien anzuwenden Modulationstechniken zu erläutern und zu analysieren Moderne Codierungs- und Vielfachzugriffstechniken zu erläutern Architekturen und Anwendungen von Fahrzeugkommunikationssystemen zu erläutern und zu analysieren Architekturen und Anwendungen von Fahrzeugsensoriksystemen zu erläutern und zu analysieren	
7	Prerequisites	None	
8	Integration in curriculum	semester: 1	

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral • Sommersemester: schriftliche Klausur (90 min); • Wintersemester: mündliche Prüfung (30 min).
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96430	Statistical Signal Processing Statistical signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Heinrich Löllmann
5	Contents	The course concentrates on fundamental methods of statistical signal processing and their applications. The main topics are: *Discrete-time stochastic processes in the time and frequency domain* Random variables (RVs), probability distributions and densities, expectations of random variables, transformation of RVs, vectors of normally distributed RVs, time-discrete random processes: probability distribution and densities, expectation, stationarity, cyclostationarity, ergodicity, correlation functions and correlation matrices, spectral representations, principal component analysis (PCA), Karhunen-Loève transform (KLT). *Estimation theory* estimation criteria, prediction, classical and Bayesian parameter estimation (including MMSE, Maximum Likelihood, and Maximum A Posteriori estimation), Cramer-Rao bound *Linear signal models* Parametric models (cepstral decomposition, Paley-Wiener theorem, spectral flatness), non-parametric models (all-pole, all-zero and pole-zero models, lattice structures, Yule-Walker equations, PARCOR coefficients, cepstral representation) *Signal estimation* Supervised estimation, problem classes, orthogonality principle, MMSE estimation, linear MMSE estimation for normally distributed random processes, optimum FIR filtering, optimum linear filtering for stationary processes, prediction and smoothing, Kalman filters, optimum multichannel filtering (Wiener filter, LCMV, MVDR, GSC) *Adaptive filtering* Gradient methods, LMS, NLMS, APA and RLS algorithms and their convergence behavior *Zeitdiskrete Zufallsprozesse im Zeit- und Frequenzbereich* Zufallsvariablen (ZVn), Wahrscheinlichkeitsverteilungen und dichten, Erwartungswerte; Transformation von ZVn; Vektoren normalverteilter ZVn; zeitdiskrete Zufallsprozesse (ZPe): Wahrscheinlichkeitsverteilungen und dichten, Erwartungswerte, Stationarität, Zyklstationarität, Ergodizität, Korrelationsfunktionen und -matrizen, Spektraldarstellungen; Principal Component Analysis, Karhunen-Loeve Transformation; *Schätztheorie* Schätzkriterien; Prädiktion; klassische und Bayessche Parameterschätzung (inkl. MMSE, Maximum Likelihood, Maximum A Posteriori); Cramer-Rao-Schranke *Lineare Signalmodelle*

		Parametrische Modelle (Cepstrale Zerlegung, Paley-Wiener Theorem, Spektrale Glattheit); Nichtparametrische Modelle: Allpole-/Allzero-/Pole-zero-(AR/MA/ARMA) Modelle; Lattice-Strukturen, Yule-Walker Gleichungen, PARCOR-Koeffizienten, Cepstraldarstellungen; *Signalschätzung* Überwachte Signalschätzung, Problemklassen; Orthogonalitätsprinzip, MMSE-Schätzung, lineare MMSE-Schätzung für Gaußprozesse; Optimale FIR-Filter; Lineare Optimalfilter für stationäre Prozesse; Prädiktion und Glättung; Kalman-Filter; optimale Multikanalfilterung (Wiener-Filter, LCMV, MVDR, GSC); *Adaptive Filterung* Gradientenverfahren; LMS-, NLMS-, APA- und RLS-Algorithmus und ihr Konvergenzverhalten.
6	Learning objectives and skills	The students: - analyze the statistical properties of random variables, random vectors, and stochastic processes by probability density functions and expectations as well as correlation functions and matrices and their frequency-domain representations - know the Gaussian distribution and its role to describe the properties of random variables, vectors and processes - understand the differences between classical and Bayesian estimation, derive and analyze MMSE and ML estimators for specific estimation problems, especially for signal estimation - analyze and evaluate optimum linear MMSE estimators (single- and multichannel Wiener filter and Kalman filter) for direct and inverse supervised estimation problems - evaluate adaptive filters for the identification of optimum linear estimators. Die Studierenden - analysieren die statistischen Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und stochastischen Prozessen mittels Wahrscheinlichkeitsdichten und Erwartungswerten, bzw. Korrelationsfunktionen, Korrelationsmatrizen und deren Frequenzbereichsdarstellungen - kennen die spezielle Rolle der Gaußverteilung und ihre Auswirkungen auf die Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und Prozessen - verstehen die Unterschiede klassischer und Bayesscher Schätzung, entwerfen und analysieren MMSE- und ML-Schätzer für spezielle Schätzprobleme, insbesondere zur Signalschätzung - analysieren und evaluieren lineare MMSE-optimale Schätzer (ein- und vielkanalige Wiener-Filter und Kalman-Filter) für direkte und inverse überwachte Schätzprobleme; - evaluieren adaptive Filter zur Identifikation optimaler linearer Signalschätzer
7	Prerequisites	Module Signale und Systeme I und Signale und Systeme II, Digitale Signalverarbeitung oder gleichwertige

8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	A. Papoulis, S. Pillai: Probability, Random Variables and Stochastic Processes; McGraw-Hill, 2002 (englisch) D. Manolakis, V. Ingle, S. Kogon: Statistical and Adaptive Signal Processing; Artech House, 2005 (englisch)

1	Module name 96801	Kommunikationsstrukturen Communication structures	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Jürgen Frickel
5	Contents	Einführung • Information und Kommunikation • Anwendungsgebiete - Kommunikation Strukturen und Eigenschaften von Kommunikationssystemen • Grundlegende Definitionen und Klassifikationen • Grundlegende Strukturen Protokolle und Schnittstellen • Grundlagen • Basis-Verfahren und Beispiele • TCP/IP-Protokol • Referenzmodell nach ISO/OSI • Sicherungsschicht/Data Link Layer (LLC und MAC) • Bitübertragungsschicht/Physical Layer • Übertragungsmedien Hardware in Kommunikationsstrukturen • HW-Architekturen und Funktionsblöcke • Digitale und Analoge Komponenten • Schaltungsdetails von Komponenten Grundlagen von Bussystemen • Klassifikation • Funktionale Eigenschaften • Arbitrierungs-Verfahren Leitungsgebundene Anwendungen für Rechnersysteme • Bus-Applikationen • Baustein-/IC-interne Busse (AMBA, FPI, ConTraBus, .) • Baugruppeninterne Busse (I2C, Chipsätze+Bridges, .) • Busse für Rechensysteme (VME, ISA, PCI, PCIe, AGP, .) • Peripherie-Busse (ATA, IEC, USB, Firewire, Fibre Channel, Thunderbolt .) Leitungsgebundene Anwendungen in Systemen • Feldkommunikation • Automobil, Luftfahrt, Space (CAN, MOST, LIN, MILBus, Spacewire .) • Industrie, Haustechnik (Profibus, EIB, .) • Weitverkehrsnetze • SDH, PDH, ATM,
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden werden in die Lage versetzt die Konzepte und Verfahren vor allem drahtgebundener Kommunikationssysteme anzuwenden.

		2. Die Studierenden lernen die Funktionsweise und den Einsatzzweck diverser Kommunikationsprotokolle zu verstehen, und miteinander zu vergleichen. 3. Desweiteren analysieren und klassifizieren Sie grundlegende Strukturen von leitungsgebundenen Kommunikationssystemen anhand ihrer funktionalen Eigenschaften.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written Klausur, 90min
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96875	Ausgewählte Kapitel der Audiodatenreduktion Advanced topics in perceptual audio coding	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Herre
5	Contents	Perceptual audio coding is ubiquitous in modern life (mp3 players, mobile phones, DVD players, computers, ...) Based on related classes (esp. Speech and Audio Processing"), this lecture aims at deepening the understanding of modern algorithms for perceptual source coding of audio. It includes an overview of the most relevant standardized coders, starting with MPEG-1 (incl. mp3) via MPEG-4 all the way to the most recent MPEG Audio standard. The significant algorithms are discussed and new approaches are described. The selected topics include: Efficient coding of several audio channels / parametric multi- channel coding Typical coding artifacts; subjective and objective quality assessment Scalable audio coding Bandwidth extension Semi-parametric audio coding Low-delay audio coding The lecture includes a number of demonstrations and audio examples to illustrate the discussed algorithms.
6	Learning objectives and skills	• Wissen - Die Studenten kennen die Hauptkomponenten eines gehörangepassten Audiocoders, sowie die wichtigsten Algorithmen, Codierstrategien und Bewertungsmethoden. Weiterhin kennen sie die Terminologie und gängige Abkürzungen aus diesem Kontext. • Verstehen - Die Studenten verstehen, wie Designentscheidungen in Audiocoders die letztendlich erreichte Audioqualität beeinflussen, verstehen die gebräuchlichsten Tools aus dem Bereich der gehörangepassten Audiocodierung und wie verschiedene Anwendungsszenarien das Coderdesign bestimmen. • Anwenden - Die Studenten können übliche mathematische Analysemethoden verwenden, um einfache Coder-Componenten zu beschreiben und gegebenenfalls zu modifizieren. • Analysieren - Die Studenten können Audiocodierungs-Standards und wahrnehmungsbasierte Messwerkzeuge dazu analysieren um die zugrundeliegenden Konzepte und Anforderungen zu erfassen. • Evaluieren (Beurteilen) - Die Studenten können Audiocodierungs-Standards und wahrnehmungsbasierte

		Messwerkzeuge evaluieren um zu beurteilen, welcher Standard bzw. welches Messwerkzeug das passendste ist für einen bestimmten Anwendungsfall. • Synthese - Die Studenten können eine Liste von Anforderungen und Bewertungskriterien für Audiocodecs zusammenstellen für gewünschte Anwendungsfälle. • Lern- bzw. Methodenkompetenz - Die Studenten hinterfragen bestehende Ansätze hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Prüfung: Mündlich, 30min.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 151664	Advanced Communication Networks Advanced communication networks	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Advanced Communication Networks - Tutorial (0,5 SWS) Vorlesung: Advanced Communication Networks (3,5 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Christian Forsch Prof. Dr. Laura Cottatellucci	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci
5	Contents	Telecommunications have become ubiquitous in daily life and wireless networks play a fundamental role thanks to their capability to support mobility. In a wireless communication, the concept of link does not exist. Users radiate energy and communicate through the superposition of each others transmissions which creates interference. Compared to wireline networks this scenario is extremely challenging but also offers unpredictable opportunities in the development of new technologies (massive MIMO, cognitive radio, etc.) and exploitation of new features, e.g., opportunistic communications and multiuser diversity. The exponentially increasing request of higher and higher throughput is satisfied densifying users and access points per unit area and allowing more and more interference while adopting advanced techniques and innovative resource allocation to mitigate the detrimental effects of interference. Objective of this course is to introduce the student to advanced techniques for coordinated medium access control and radio resource management in cellular systems. Power allocation, rate adaptation and scheduling will be discussed both in centralized and distributed settings. Some mathematical methods play a fundamental role in resource allocation, namely, classical Perron-Frobenius theory for nonnegative matrices, convex and nonconvex constrained optimization, distributed optimization and game theory. The course introduces the student to such methods and exemplifies their application to various resource allocation problems. Additionally, the course addresses relevant aspects of resource allocation in wireless networks such as fairness and cross-layer design. *Technical Content* • Properties and challenges of the wireless medium. • Basic concepts of communication networks: the layered architecture. • Evolution of wireless cellular network architectures: From Global System for Mobile to Advanced-Long Term Evolution. • Multiple Access Schemes: CSMA variants, TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA, SC-FDMA, SDMA. • Uplink-downlink duality. • Opportunistic scheduling and multiuser diversity.

		• Advanced concepts: small cells and heterogeneous networks, relaying and cooperation, network coding, cognitive radio networks. • Basics of resource allocation: power allocation, rate adaptation, and scheduling. • Classical resource allocation techniques: Centralized and distributed power control based on the Perron-Frobenius theorem. • Fundamentals of convex constrained optimization and application to resource allocation. • Resource allocation and fairness. • Fundamentals of nonconvex optimization and relaxation techniques. • Applications of nonconvex optimization to resource allocation. • Fundamentals of distributed optimization and applications to resource allocation. • Fundamental concepts of game theory. • Resource contention via game theoretical methods.
6	Learning objectives and skills	The student • Describes and/or recognizes wireless channel models. • Criticizes the limits of a layered architecture in wireless systems. • Defends the use of cross-layer design in wireless network. • Appraises and compares the distribution of functionalities in network entities for different architectures. • Argue on the pros and contras of different multiple access schemes according to various criteria (e.g. spectral efficiency, power efficiency, robustness to interference). • Compares and contrasts micro-diversity and various macro-diversity schemes. • Computes the total rate of SDMA with various receivers. • Relates the multiple access in uplink to broadcasting in downlink and justifies the concept of uplink-downlink duality. • Uses uplink-downlink duality to design a precoder and allocate power. • Contrasts multiple access in uplink and broadcasting in downlink in terms of channel state acquisition both for TDD and FDD transmission. • Uses multiuser diversity for opportunistic scheduling. • Compares multiuser diversity for users having identical and different channel statistics. • Contrasts opportunistic scheduling in terms of channel state acquisition and feedback both for uplink and downlink and for both FDD and TDD transmission schemes. • Appraises the impact of multiple antennas on opportunistic scheduling. • Analyses different settings with interference in small cells and designs countermeasures. • Categorizes relaying schemes in LTE.

		- Analyses performance of relaying schemes. - Argues on possible improvements of relaying schemes via network coding and physical layer network coding. - Uses the Perron-Frobenious theorem to allocate power in a centralized manner. - Judges the feasibility of a power control problems and formulates alternative approaches in case of unfeasibility. - Uses the Perron-Frobenious theorem to design a distributed power control scheme. - Judges the convergences of distributed power control based on the Perron-Frobenius theorem and appraises the robustness of asynchronous power control. - Applies techniques of convex optimization to discriminate convex problems and determine necessary and/or sufficient conditions for global optimality. - Judges the applicability of KKT conditions and duality. - Uses KKT conditions to solve convex optimization problems. - Uses duality to solve convex optimization problems. - Applies convex optimization to resource allocation in wireless communications. - Compares different definitions of fairness and applies them to rate allocation. - Appraises the effect of channel knowledge at the transmitter on different fairness criteria. - Applies KKT conditions for opportunistic user scheduling. - Describes a proportional fair algorithm for opportunistic scheduling. - Applies relaxation to nonconvex quadratic constrained quadratic programming. - Formulates resource allocation problems as constrained optimization programming. - Contrasts various distributed optimization methods. - Applies the concept of best response to determine Nash equilibria. - Argues about existence and uniqueness of Nash equilibria. - Assesses if a given game is a potential game and solves it. - Defends the concept of Pareto optimality in resource allocation. - Contrasts the concepts of pure and mixed strategies in game theory. - Uses coupled constrained concave game to allocate powers in heterogeneous networks.
7	Prerequisites	Information Theory and Coding It is advisable that the student is familiar with basic concepts of Mobile Communications
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes) Oral exam, 30 minutes
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 668129	Machine Learning in Communications Machine learning in communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci
5	Contents	Recently, in many areas of wireless communications such as wireless sensor networks (WSNs), heterogeneous networks and complex ad hoc networks, distributed graph algorithms and machine learning on graphs are gaining relevance as fundamental tools in network analysis and information processing. This motivates to deliver a general introduction to fundamentals of machine learning such as detection of clusters on graphs. The introduction is followed by the application of machine learning to the design of physical and data layer techniques in wireless communications and in the optimization of mobile networks.
6	Learning objectives and skills	The students • know and explain the fundamentals of machine learning with special attention to machine learning over graphs. • apply these principles in the design and optimisation of wireless communications systems and mobile networks.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The examination is a 30-minute oral exam. The examination language is English.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

Specialization Media Processing Systems: Compulsory elective module EEI

1	Module name 43141	Mobile Communications Mobile communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Mobile Communications - Tutorial (1 SWS) Vorlesung: Mobile Communications (3 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Levi-Pascal Bohnacker Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller
5	Contents	History of mobile communications, cellular systems, sectorization, spectral efficiency, co-channel interference, adjacent-channel interference, near-far effect, cellular network architecture, antenna types and parameters, free space propagation, reflection, attenuation, diffraction, scattering, classification of channel models, ground reflection model, Okumura-Hata model, shadowing, narrow-band fading, time-variant channels, scattering function, delay-Doppler spectrum, diversity principles, combining methods, diversity gain, multiplexing, duplexing, digital modulation, Gaussian filtered minimum shift keying, basics of channel coding, interleaving, global system for mobile communications, physical versus logical channels, frame structure, call set-up, synchronization, channel estimation, hand-off
6	Learning objectives and skills	The students explain the cellular structure of mobile communication systems. They students explain the physical mechanics of radio wave propagation in the cm-band. The students explain the GSM cellular communications standard. The students discuss the pros and cons of several multiple-access and duplexing methods. The students discuss the pros and cons of several modulation and coding formats. The students decide which antenna type is suitable for a given morphological structure of the environment. The students predict the amplitude and dynamic of the attenuation between a mobile transmitter and a fixed receiver. The students utilize diversity methods to improve the link quality. The students determine the coverage probability of a given cellular communication system. The students collaborate on solving exercise problems. The students discuss which system solutions fit to which environments.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Proakis, J.: Digital Communications, McGraw-Hill, 4th ed., 2001. Rappaport, T.: Wireless Communications: Principles & Practice, Prentice Hall, 2nd ed., 2001. Mouly, M., Paulet, M.: The GSM System for Mobile Communications, Cell & SYS, France, 1992. Goldsmith, A.: Wireless Communications, Cambridge Univ. Press, 2005.

1	Module name 48440	Machine Learning in Signal Processing Machine learning in signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	This course is an introduction into machine learning and artificial intelligence. The special emphasis is on applications to modern signal processing problems. The course is focused on design principles of machine learning algorithms. The lectures start with a short introduction, where the nomenclature is defined. After this, probabilistic graphical models are introduced and the use of latent variables is discussed, concluding with a discussion of hidden Markov models and Markov fields. The second part of the course is about deep learning and covers the use of deep neural networks for machine learning tasks. In the last part of the lecture, the use of deep neural networks for speech processing tasks is introduced. The course is based on the materials and video footage from Dr. Roland Maas. He is an outstanding machine learning expert and a former member of the Chair of Multimedia Communications and Signal Processing.
6	Learning objectives and skills	After attending the lecture, students will be able to • understand regression and classification problems • apply PDF estimation algorithms • understand Gaussian mixture models and expectation-maximization • apply principal component analysis and independent component analysis • assess different estimation algorithms • explain the application of machine learning to system identification • apply hidden Markov models • understand different artificial neural network architectures • explain deep learning principles • apply artificial neural networks • devise learning strategies for deep neural networks • assess the application of deep neural networks for speech processing tasks.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literature: • C. M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, http://www.research.microsoft.com/en-us/um/people/cmbishop/PRML • S. Theodoridis and K. Koutroumbas: Pattern Recognition • M. Nielsen: Neural Networks and Deep Learning.

1	Module name 93601	Information Theory and Coding / Informationstheorie und Codierung Information theory and coding	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Informationstheorie und Codierung - Übung (1 SWS) Vorlesung: Informationstheorie und Codierung (3 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Johanna Fröhlich Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller
5	Contents	1. Introduction: binomial distribution, (7,4)-Hamming code, parity-check matrix, generator matrix 2. Probability, entropy, and inference: entropy, conditional probability, Bayes law, likelihood, Jensens inequality 3. Inference: inverse probability, statistical inference 4. The source coding theorem: information content, typical sequences, Chebychev inequality, law of large numbers 5. Symbol codes: unique decidability, expected codeword length, prefix-free codes, Kraft inequality, Huffman coding 6. Stream codes: arithmetic coding, Lempel-Ziv coding, Burrows-Wheeler transform 7. Dependent random variables: mutual information, data processing lemma 8. Communication over a noisy channel: discrete memory-less channel, channel coding theorem, channel capacity 9. The noisy-channel coding theorem: jointly-typical sequences, proof of the channel coding theorem, proof of converse, symmetric channels 10. Error-correcting codes and real channels: AWGN channel, multivariate Gaussian pdf, capacity of AWGN channel 11. Binary codes: minimum distance, perfect codes, why perfect codes are bad, why distance isnt everything 12. Message passing: distributed counting, path counting, low-cost path, min-sum (=Viterbi) algorithm 13. Exact marginalization in graphs: factor graphs, sum-product algorithm 14. Low-density parity-check codes: density evolution, check node degree, regular vs. irregular codes, girth 15. Lossy source coding: transform coding and JPEG compression -- 1. Einleitung: Binomialverteilung, (7,4)-Hamming-Code, Paritätsmatrix, Generatormatrix 2. Wahrscheinlichkeit, Entropie und Inferenz: Entropie, bedingte Wahrscheinlichkeit, Bayessches Gesetz, Likelihood, Jensensche Ungleichung 3. Inferenz: Inverse Wahrscheinlichkeit, statistische Inferenz 4. Das Quellencodierungstheorem: Informationsgehalt, typische Folgen, Tschebyschevsche Ungleichung, Gesetz der großen Zahlen

		5. Symbolcodes: eindeutige Dekodierbarkeit, mittlere Codewortlänge, präfixfreie Codes, Kraftsche Ungleichung, Huffman-codierung 6. Stromcodes: arithmetische Codierung, Lempel-Ziv-Codierung, Burrows-Wheeler-Transformation 7. Abhängige Zufallsvariablen: Transinformation, Datenverarbeitungslemma 8. Kommunikation über gestörte Kanäle: diskreter gedächtnisloser Kanal, Kanalcodierungstheorem, Kanalkapazität 9. Das Kanalcodierungstheorem: verbundtypische Folgen, Beweis des Kanalcodierungstheorems, Beweis des Umkehrsatzes, symmetrische Kanäle 10. Fehlerkorrigierende Codes und reale Kanäle: AWGN-Kanal, mehrdimensionale Gaußsche WDF, Kapazität des AWGN-Kanals 11. Binäre Codes: Minimaldistanz, perfekte Codes, Warum perfekte Codes schlecht sind, Warum Distanz nicht alles ist 12. Nachrichtenaustausch: verteiltes Zählen, Pfadzählen, günstigster Pfad, Minimumsummenalgorithmus 13. Exakte Marginalisierung in Graphen: Faktorgraph, Summenproduktalgorithmus 14. LDPC-Codes: Dichteevolution, Knotenordnung, reguläre und irreguläre Codes, Graphumfang 15. Verlustbehaftete Quellencodierung: Transformationscodierung und JPEG-Kompression
6	Learning objectives and skills	The students apply Bayesian inference to problems in both communications and everyday's life. The students explain the concept of digital communications by means of source compression and forward-error correction coding. For the design of communication systems, they use the concepts of entropy and channel capacity. They calculate these quantities for memoryless sources and channels. The students prove both the source coding and the channel coding theorem. The students compare various methods of source coding with respect to compression rate and complexity. The students apply source compression methods to measure mutual information. The students factorize multivariate functions, represent them by graphs, and marginalize them with respect to various variables. The students explain the design of error-correcting codes and the role of minimum distance. They decode error-correcting codes by means of maximum-likelihood decoding and message passing. The students apply distributed algorithms to problems in both communications and everyday's life. The students improve the properties of low-density parity-check codes by widening the girth and/or irregularity in the degree distribution. The students transform source images into the frequency domain to improve lossy compression. --

		Die Studierenden wenden Bayessche Inferenz auf Probleme in der Nachrichtentechnik und im Alltagsleben an. Die Studierenden erklären die konzeptuelle Trennung von digitaler Übertragung in Quellen- und Kanalcodierung. Kommunikationssysteme entwerfen sie unter Betrachtung von Entropie und Kanalkapazität. Sie berechnen diese Größen für gedächtnislose Quellen und Kanäle. Die Studierenden beweisen sowohl das Quellen- als auch das Kanalcodierungstheorem. Die Studierenden vergleichen verschiedenartige Quellencodierungsverfahren hinsichtlich Komplexität und Kompressionsrate. Die Studierenden verwenden Quellencodiervverfahren zur Messung von Transinformation. Die Studierenden faktorisieren Funktionen mehrerer Veränderlicher, stellen diese als Graph dar und marginalisieren sie bezüglich mehrerer Veränderlicher. Die Studierenden erklären den Entwurf von Kanalcodes und den Einfluss der Minimaldistanz. Sie decodieren Kanalcodes gemäß maximaler Likelihood und Nachrichtenaustausch. Die Studierenden wenden verteilte Algorithmen auf Probleme der Nachrichtentechnik und des Alltagslebens an. Die Studierenden verbessern die Eigenschaften von LDPC-Codes durch Erhöhung des Umfangs und/oder durch irreguläre Knotenordnungsverteilungen. Die Studierenden transformieren Bildquellen zur Verbesserung verlustbehafteter Kompression in den Frequenzbereich.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

16	Bibliography	MacKay, D.: Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

1	Module name 96090	Digitale elektronische Systeme Digital electronic systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Digitale elektronische Systeme (3 SWS) Übung: Übungen zu Digitale elektronische Systeme (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Torsten Reißland Albert-Marcel Schrotz Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel
5	Contents	• Analog-Digital-Umsetzer: Qualitätsmerkmale, Messtechnik, Hardwarearchitekturen • Digital-Analog-Umsetzer: Qualitätsmerkmale, Messtechnik, Hardwarearchitekturen • Programmierbare Logikschaltungen (PLD, FPGA): Grundlegende Konzepte, Kategorien, Hardwarearchitekturen • Digitale-Filter: Theorie, Eigenschaften, Entwicklung und Implementierung und IIR und FIR Filtern
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden verstehen die Hardwarearchitekturen und Funktionsweisen von Komponenten digitaler Elektronischer Systeme wie Digital-Analog-Umsetzer, Analog-Digital Umsetzer, PLDs und FPGAs und können diese erläutern • Die Studierenden Verstehen die Qualitätsmerkmale von Digitalen Elektronischen Komponenten, können diese auf konkrete Komponenten anwenden und somit die Qualität von digitalen Elektronischen Komponenten anhand der in Datenblättern typischer weise gegebenen Qualitätsmerkmale evaluieren • Die Studierenden können die Einflüsse von nichtidealen Bauelementen auf digitale elektronische Systeme analysieren • Die Studierenden verstehen die Funktion, die Eigenschaften, die Entwicklungsmethodik sowie die Implementierung von digitalen Filtern und könne diese erläutern
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96101	Integrierte Navigationssysteme Integrated navigation systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Jörn Thielecke	
5	Contents	1. Überblick • Von der Astronavigation zur Navigation mit Mikroelektronik • Messprinzipien & Positionsberechnung (Standlinien/-flächen) • Begriffsdefinitionen (s. US Federal Radionavigation Plan), Genauigkeit, Verfügbarkeit, Verlässlichkeit, Integrität, etc. • Systematische Strukturierung des Gebiets: siehe 2. bis 7. 2. Positions- und Lagebestimmung • Funkausbreitung und Funkortung (Beispiel WLAN) • Fingerabdruckverfahren • Lokalisierung mit Markovketten 3. Koppelnavigation (Tracking) mittels Trägheitsnavigation • Koordinatensysteme und ihre Einsatzgebiete • Mathematische Grundlagen, z.B. Quaternionen, Corioliseffekt • Strapdown Inertial Navigation Systems • Sensorprinzipien und Trägheitssensoren • Computergestützte Lösung der Navigationsgleichungen • System- und Fehlermodellierung im Zustandsraum • Das Kalmanfilter und Glättung mittels Retrodiktion 4. Seiteninformationen: Kinematik und Karten (kurze Übersicht) 5. Landmarken als lokaler Ortsbezug • Merkmalsbasierte Ortung z.B. mit Kamera oder UWB • Partikelfilter und Monte-Carlo-Integration 6. Integration von Navigationskomponenten: Sensordatenfusion • Fusionsarchitekturen: Beispiel GPS & Trägheitsnavigation 7. Einbettung von Navigationssystemen • Assisted GPS oder Location Based Service Anmerkung: Die Navigationsmethoden werden gleichermaßen anhand von Tafel- und Rechnerübungen (MATLAB) einstudiert	
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, typische Navigationsverfahren hinsichtlich ihrer Funktionsweise und Einsetzbarkeit zu analysieren, zu bewerten und weiterzuentwickeln. 2. Die Studierenden lernen Navigationsgleichungen selbst aufzustellen, anzuwenden und mit unterschiedlichen Algorithmen auf dem Computer zu lösen. 3. Die Studierenden entwickeln ein Verständnis für die Herausforderungen bei der Integration unterschiedlicher Teilsysteme zu einem Navigationssystem und der Einbettung von Navigationssystemen in übergeordnete Systeme	

7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, geeignet für Masterstudium, grundlegende Kenntnisse erforderlich in: linearer Algebra, Physik, Signal- & System-theorie, Wahrscheinlichkeitstheorie.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral
11	Grading procedure	Written or oral (100%) Bei bestandener Prüfung wird die Note um eine Teilnotenstufe (z.B. von 2,0 auf 1,7) verbessert, wenn Sie mindestens 75% der Hausaufgaben einschließlich der Rechnerübungen erfolgreich absolviert haben. Eine Note besser als 1,0 wird nicht vergeben.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Lehrveranstaltung.

1	Module name 96270	Kanalcodierung Channel coding	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Channel Coding (4 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer
5	Contents	1) Introduction and Motivation 2) Fundamentals of Block Coding 3) Introduction to Finite Fields I 4) Linear Block Codes 5) Linear Cyclic Codes 6) Introduction to Finite Fields II 7) BCH and RS Codes 8) Convolutional Codes 9) Codes with Iterative Decoding
6	Learning objectives and skills	Das Modul Kanalcodierung umfasst eine Einführung in die Grundlagen der algebraischen, fehlerkorrigierenden Blockcodes sowie einen Einstieg in die Thematik der Faltungscodes. Iterativ decodierte Codeschemata wie Turbo-Codes und LDPC-Codes werden ebenfalls eingeführt. Im Einzelnen sind die Inhalte oben aufgeführt. Die Studierenden definieren die Problematik der Kanalcodierung, grenzen sie von anderen Codierv Verfahren (z.B. der Quellencodierung) ab und kennzeichnen die unterschiedlichen Ansätze zur Fehlerkorrektur und -erkennung. Sie nennen Beispiele für Einsatzgebiete von Kanalcodierung und geben einen Überblick über die historische Entwicklung des Fachgebiets. Die Studierenden erstellen Übertragungsszenarien für den Einsatz von Kanalcodierung bestehend aus Sender, Übertragungskanal und Empfänger und beachten dabei die Grundannahmen beim Einsatz von Blockcodes bzw. der Modellierung der Kanäle. Sie formulieren mathematische Beschreibungen der Encodierung sowie der optimalen Decodierung bzw. suboptimaler Varianten. Die Studierenden beherrschen die Grundlagen fehlerkorrigierender linearer Blockcodes, beschreiben diese mathematisch korrekt mittels Vektoren und Matrizen über endlichen Körpern und implementieren und bewerten zugehörige Encoder- und Decoderstrukturen insbesondere Syndromdecoder. Dabei modifizieren sie Generatormatrizen, ermitteln Prüfmatrizen und erstellen Syndromtabellen. Sie schätzen die minimale Hammingdistanz von Codes mittels Schranken ab und können den erzielbaren Codegewinn erläutern. Sie kennen und benutzen beispielhaften Codefamilien (z.B. Hamming-Codes, Simplex-Codes, Reed-Muller-Codes). Die Studierenden erkennen die Vorteile zyklischer linearer Blockcodes und beschreiben diese mit Polynomen über endlichen Körpern. Sie nutzen die Restklassenrechnung bzgl. Polynomen zur Umsetzung systematischer Encoder und zur Realisierung von Syndromdecodern mittels Schieberegisterschaltungen. Sie kennen beispielhafte Codefamilien.

Die Studierenden nutzen Primkörper, Erweiterungskörper, Minimalpolynome und Kreisteilungsklassen sowie die Spektraldarstellung über endlichen Körpern zur Realisierung von BCH- und Reed-Solomon-Codes gemäß der BCH-Schranke. Sie verstehen die Grundlagen der Decodierung von BCH- und Reed-Solomon-Codes. Sie skizzieren und erläutern die Kanalcodierkonzepte von CD und DVD. Die Studierenden erklären die Unterschiede von Faltungscodes und Blockcodes, skizzieren anhand von tabellierten Generatorpolynomen zugehörige Encoder und erläutern diese. Sie erklären die Funktionsweise des optimalen Decoders (MLSE) und demonstrieren diese beispielhaft.

Die Studierenden verstehen die Grundlagen der iterativen Decodierung, insbesondere wenden sie die Grundlagen des Information Combining zur Kombination von verschiedenen Beobachtungen an. Sie verstehen die Bedeutung von Log-Likelihood-Ratios bei iterativen Decodieruvorgängen und berechnen diese. Sie skizzieren die grundlegenden Encoder- und Decoderstrukturen von Turbo-Codes und die Grundzüge der Codierung mit LDPC-Codes u.a. der Decodierung mittels Belief Propagation.

Die Vorlesung erfolgt wechselweise auf Deutsch oder Englisch (Winter/Sommer). Die zur Verfügung gestellten Unterlagen sind ausschließlich in Englisch gehalten. Die Studierenden verwenden entweder die englischen Fachtermini sicher oder kennen diese und drücken sich sicher mit den entsprechenden deutschen Fachbegriffen aus.

Die Umsetzung der angegebenen Algorithmen in eine Programmiersprache (C, Matlab usw.) sollten die Studierenden zu diesem Zeitpunkt des Studiums üblicherweise beherrschen. Übungen hierzu bleiben der Eigeninitiative überlassen.

Students define the problems of channel coding, how to distinguish it from other coding methods (such as source coding) and how to describe the various different approaches to error correction and detection. They are able to list example application areas of channel coding and give an overview of the historical development of the field.

Furthermore, they describe and analyze transmission scenarios for the application of channel coding which consist of transmitter, transmission channel and receiver, taking into account the general assumptions for applying block codes or modeling the channels. They formulate mathematical descriptions of encoding, optimal decoding and sub-optimal methods.

Students illustrate the principles of error-correcting linear block codes and describe them mathematically using vectors and matrices over finite fields. They implement and analyze corresponding encoder and decoder structures, in particular syndrome decoders, and modify generator matrices, construct test matrices and create syndrome tables. They estimate the minimum Hamming distance of codes using bounds and are able to explain the coding gain that can be achieved in individual cases. They analyze and use example code families (e.g. Hamming codes, simplex codes, Reed-Muller codes).

		Students explain the advantages of cyclic linear block codes and how to describe them with polynomials over finite fields. They apply polynomial modular arithmetic to implement systematic encoders and realize syndrome decoders using shift register circuits. They know and use exemplary code families. Students use prime fields, extension fields, minimal polynomials and cyclotomic cosets, and spectral representation over finite fields to implement BCH and Reed-Solomon codes using the BCH bound. They understand the foundations of decoding BCH and Reed-Solomon codes and how to sketch and explain the channel coding concepts of CDs and DVDs. Students are able to describe the differences between convolutional codes and block codes, to sketch the respective encoders based on tabulated generator polynomials and to explain them. They are able to explain how optimal decoders (MLSE) work using examples. Students sketch the foundations of iterative decoding. In particular, they apply methods of information combining to combine different observations. They use and calculate log-likelihood ratios in iterative decoding processes, sketch the basic encoding and decoding structures of turbo codes and the basics of coding using LDPC codes (including decoding using belief propagation). Students either are able to use the English technical terms correctly or know them and are able to express themselves using the respective technical terms in German.
7	Prerequisites	Es ist hilfreich, wenn die Studierenden die erlernten Algorithmen in eine Programmiersprache (C, Matlab usw.) umsetzen können. It would be very helpful if the participants can implement the specified algorithms into a programming language (C, Matlab, etc.).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Die Prüfung ist eine 90-minütige schriftliche Klausur. Hilfsblatt, Taschenrechner: Sie können ein einzelnes A4-Blatt (Vorder- und Rückseite oder andere Blätter mit offensichtlich identischer Gesamtfläche) verwenden, um Ihre eigene, handschriftliche Formelsammlung aufzuschreiben. Sie können einen nicht programmierbaren Taschenrechner verwenden. The examination is a 90-minute written test.

		Cheat Sheet, Calculator: A single A4 sheet (front and back, or any other collection of sheets with an obviously identical total area size) can be used to write down your own handwritten collection of formulas, etc. You may also bring a non-programmable calculator.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	• J. Huber, R. Fischer, C. Stierstorfer: Folien zur Vorlesung • M. Bossert: Kanalcodierung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 3. Auflage, 2013 • M. Bossert: Channel Coding for Telecommunications, John Wiley & Sons, 1999 • B. Friedrichs: Kanalcodierung, Springer Verlag, 1996 • S.B. Wicker: Error Control Systems for Digital Communications and Storage, Prentice-Hall, 1995

1	Module name 96312	Bild-, Video- und mehrdimensionale Signalverarbeitung Image, video and multidimensional signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	• ◦ Histogrammausgleich, Gamma-Korrektur • ◦ Morphologische Filter, Erosion, Dilatation, Opening, Closing • ◦ Trichromat, RGB- Farbraum, HSV-Farbraum • ◦ Theorie mehrdimensionaler Signale und Systeme, Impulsantwort, lineare Bildfilterung, Leistungsspektrum, Wiener Filter • ◦ Bilineare Interpolation, Bicubische Interpolation, Spline Interpolation • ◦ Bildmerkmale, Kantendetektion, Hough Transformation, Harris Ecken Detektor, Texturmerkmale, Grauwertematrix • ◦ LoG, DoG, SIFT, SURF • ◦ Projektive Abbildungen, Blockabgleich, Optischer Fluss, Merkmalsbasierter Abgleich mittels SIFT und SURF, RANSAC • ◦ Amplituden Schwellenwertermittlung, K-Means Clustering, Bayes Klassifikation, Regionen-basierte Segmentierung, kombinierte Segmentierung und Bewegungsschätzung, zeitliche Segmentierung von Videos • ◦ Unitäre Transformation, Karhunen-Loeve Transformation, separable Transformationen, Haar und Hadamard Transformation, DFT, DCT
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen Punktoperationen an Bilddaten und Gamma-Korrektur • testen die Wirkung von Rangordnungs- und Medianfiltern an Bilddaten • unterscheiden und bewerten verschiedene Farbräume für Bilddaten

		• erklären das Prinzip der zwei-dimensionalen linearen Filterung für Bildsignale • berechnen und bewerten die zweidimensionale diskrete Fourier-Transformierte eines Bildsignales • bestimmen vergrößerte diskrete Bildsignale mit Methoden der bilinearen und Spline-Interpolation • überprüfen Bilddaten auf ausgewählte Textur-, Kanten- und Bewegungsmerkmale • analysieren Bild- und Videodaten auf Merkmale in unterschiedlichen Scale-Spaces • erläutern und beurteilen Methoden für das Matching von Bilddaten • segmentieren Bilddaten durch Programmierung von einfachen Klassifikations- oder Clustering-Verfahren • verstehen das Prinzip von Transformation auf Bilddaten und können diese an Beispielen anwenden.
7	Prerequisites	Vorlesung Signale und Systeme I und II empfohlen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• J.-R. Ohm: [Multimedia Content Analysis], Springer, 2016 • J. W. Woods: [Multidimensional Signal, Image, and Video Processing and Coding], Academic Press, second edition, 2012

1	Module name 96875	Ausgewählte Kapitel der Audiodatenreduktion Advanced topics in perceptual audio coding	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Herre	
5	Contents	Perceptual audio coding is ubiquitous in modern life (mp3 players, mobile phones, DVD players, computers, ...) Based on related classes (esp. Speech and Audio Processing"), this lecture aims at deepening the understanding of modern algorithms for perceptual source coding of audio. It includes an overview of the most relevant standardized coders, starting with MPEG-1 (incl. mp3) via MPEG-4 all the way to the most recent MPEG Audio standard. The significant algorithms are discussed and new approaches are described. The selected topics include: Efficient coding of several audio channels / parametric multi- channel coding Typical coding artifacts; subjective and objective quality assessment Scalable audio coding Bandwidth extension Semi-parametric audio coding Low-delay audio coding The lecture includes a number of demonstrations and audio examples to illustrate the discussed algorithms.	
6	Learning objectives and skills	• Wissen - Die Studenten kennen die Hauptkomponenten eines gehörangepassten Audiocodexs, sowie die wichtigsten Algorithmen, Codierstrategien und Bewertungsmethoden. Weiterhin kennen sie die Terminologie und gängige Abkürzungen aus diesem Kontext. • Verstehen - Die Studenten verstehen, wie Designentscheidungen in Audiocodexs die letztendlich erreichte Audioqualität beeinflussen, verstehen die gebräuchlichsten Tools aus dem Bereich der gehörangepasste Audiocodierung und wie verschiedene Anwendungsszenarien das Coderdesign bestimmen. • Anwenden - Die Studenten können übliche mathematische Analysemethoden verwenden, um einfache Coder-Componenten zu beschreiben und gegebenenfalls zu modifizieren. • Analysieren - Die Studenten können Audiocodierungs-Standards und wahrnehmungsbasierte Messwerkzeuge dazu analysieren um die zugrundeliegenden Konzepte und Anforderungen zu erfassen. • Evaluieren (Beurteilen) - Die Studenten können Audiocodierungs-Standards und wahrnehmungsbasierte	

		Messwerkzeuge evaluieren um zu beurteilen, welcher Standard bzw. welches Messwerkzeug das passendste ist für einen bestimmten Anwendungsfall. • Synthese - Die Studenten können eine Liste von Anforderungen und Bewertungskriterien für Audiocodecs zusammenstellen für gewünschte Anwendungsfälle. • Lern- bzw. Methodenkompetenz - Die Studenten hinterfragen bestehende Ansätze hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Prüfung: Mündlich, 30min.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96880	Speech Enhancement Speech enhancement	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Emanuël Habets	
5	Contents	Description We live in a noisy world! In all applications related to speech, from hands-free communication to human-machine interfaces, a speech signal of interest captured by one or more microphones is contaminated by noise and reverberation. The quality and intelligibility of the signal of interest depend highly on the level of noise and reverberation. Therefore, it is highly desirable, and sometimes even indispensable, to "clean up" the captured signals before storage, transmission, or reproduction. This course discusses both model-driven and data-driven methods to estimate the signal of interest and aims to provide a strong foundation for researchers, engineers, and graduate students interested in signal and speech enhancement. Relation to other courses This course is the most advanced course offered by the university on this topic and serves as an excellent basis from which to commence research in the area. Various aspects of the course bring students up to date with the very latest developments in the field, as seen in recent international conferences and journals. This course is well complimented by [Selected Topics in Perceptual Audio Coding] (Prof. Herre) and [Auditory Models] (Prof. Edler).	
6	Learning objectives and skills	• Formulate the speech enhancement problem mathematically. • Derive optimal single- and multi-channel filters to reduce noise and reverberation. • Evaluate and compare the performance of single- and multi-channel filters for speech enhancement. • Understand how reference signals and other prior information can be used in a speech enhancement system. • Understand the limitations and challenges of existing speech enhancement systems. • Understand the importance of binaural cues and the influence of a speech enhancement system on the binaural cues in the context of hearing aids. • Design a microphone array and analyze its performance. • Design a speech enhancement system for a given acoustic scenario.	

		Evaluate subjectively and objectively the performance of a speech enhancement system in terms of speech quality and intelligibility.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	

1	Module name 151664	Advanced Communication Networks Advanced communication networks	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Advanced Communication Networks - Tutorial (0,5 SWS) Vorlesung: Advanced Communication Networks (3,5 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Christian Forsch Prof. Dr. Laura Cottatellucci	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci
5	Contents	Telecommunications have become ubiquitous in daily life and wireless networks play a fundamental role thanks to their capability to support mobility. In a wireless communication, the concept of link does not exist. Users radiate energy and communicate through the superposition of each others transmissions which creates interference. Compared to wireline networks this scenario is extremely challenging but also offers unpredictable opportunities in the development of new technologies (massive MIMO, cognitive radio, etc.) and exploitation of new features, e.g., opportunistic communications and multiuser diversity. The exponentially increasing request of higher and higher throughput is satisfied densifying users and access points per unit area and allowing more and more interference while adopting advanced techniques and innovative resource allocation to mitigate the detrimental effects of interference. Objective of this course is to introduce the student to advanced techniques for coordinated medium access control and radio resource management in cellular systems. Power allocation, rate adaptation and scheduling will be discussed both in centralized and distributed settings. Some mathematical methods play a fundamental role in resource allocation, namely, classical Perron-Frobenius theory for nonnegative matrices, convex and nonconvex constrained optimization, distributed optimization and game theory. The course introduces the student to such methods and exemplifies their application to various resource allocation problems. Additionally, the course addresses relevant aspects of resource allocation in wireless networks such as fairness and cross-layer design. *Technical Content* • Properties and challenges of the wireless medium. • Basic concepts of communication networks: the layered architecture. • Evolution of wireless cellular network architectures: From Global System for Mobile to Advanced-Long Term Evolution. • Multiple Access Schemes: CSMA variants, TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA, SC-FDMA, SDMA. • Uplink-downlink duality. • Opportunistic scheduling and multiuser diversity.

		• Advanced concepts: small cells and heterogeneous networks, relaying and cooperation, network coding, cognitive radio networks. • Basics of resource allocation: power allocation, rate adaptation, and scheduling. • Classical resource allocation techniques: Centralized and distributed power control based on the Perron-Frobenius theorem. • Fundamentals of convex constrained optimization and application to resource allocation. • Resource allocation and fairness. • Fundamentals of nonconvex optimization and relaxation techniques. • Applications of nonconvex optimization to resource allocation. • Fundamentals of distributed optimization and applications to resource allocation. • Fundamental concepts of game theory. • Resource contention via game theoretical methods.
6	Learning objectives and skills	The student • Describes and/or recognizes wireless channel models. • Criticizes the limits of a layered architecture in wireless systems. • Defends the use of cross-layer design in wireless network. • Appraises and compares the distribution of functionalities in network entities for different architectures. • Argue on the pros and contras of different multiple access schemes according to various criteria (e.g. spectral efficiency, power efficiency, robustness to interference). • Compares and contrasts micro-diversity and various macro-diversity schemes. • Computes the total rate of SDMA with various receivers. • Relates the multiple access in uplink to broadcasting in downlink and justifies the concept of uplink-downlink duality. • Uses uplink-downlink duality to design a precoder and allocate power. • Contrasts multiple access in uplink and broadcasting in downlink in terms of channel state acquisition both for TDD and FDD transmission. • Uses multiuser diversity for opportunistic scheduling. • Compares multiuser diversity for users having identical and different channel statistics. • Contrasts opportunistic scheduling in terms of channel state acquisition and feedback both for uplink and downlink and for both FDD and TDD transmission schemes. • Appraises the impact of multiple antennas on opportunistic scheduling. • Analyses different settings with interference in small cells and designs countermeasures. • Categorizes relaying schemes in LTE.

		- Analyses performance of relaying schemes. - Argues on possible improvements of relaying schemes via network coding and physical layer network coding. - Uses the Perron-Frobenious theorem to allocate power in a centralized manner. - Judges the feasibility of a power control problems and formulates alternative approaches in case of unfeasibility. - Uses the Perron-Frobenious theorem to design a distributed power control scheme. - Judges the convergences of distributed power control based on the Perron-Frobenius theorem and appraises the robustness of asynchronous power control. - Applies techniques of convex optimization to discriminate convex problems and determine necessary and/or sufficient conditions for global optimality. - Judges the applicability of KKT conditions and duality. - Uses KKT conditions to solve convex optimization problems. - Uses duality to solve convex optimization problems. - Applies convex optimization to resource allocation in wireless communications. - Compares different definitions of fairness and applies them to rate allocation. - Appraises the effect of channel knowledge at the transmitter on different fairness criteria. - Applies KKT conditions for opportunistic user scheduling. - Describes a proportional fair algorithm for opportunistic scheduling. - Applies relaxation to nonconvex quadratic constrained quadratic programming. - Formulates resource allocation problems as constrained optimization programming. - Contrasts various distributed optimization methods. - Applies the concept of best response to determine Nash equilibria. - Argues about existence and uniqueness of Nash equilibria. - Assesses if a given game is a potential game and solves it. - Defends the concept of Pareto optimality in resource allocation. - Contrasts the concepts of pure and mixed strategies in game theory. - Uses coupled constrained concave game to allocate powers in heterogeneous networks.
7	Prerequisites	Information Theory and Coding It is advisable that the student is familiar with basic concepts of Mobile Communications
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes) Oral exam, 30 minutes
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 250058	Signal Analysis Signal analysis	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Heinrich Löllmann	
5	Contents	Es werden im Rahmen dieser Vorlesung unterschiedliche Verfahren zur Analyse digitaler Signale, sowie deren Anwendungsmöglichkeiten behandelt. Die folgenden Konzepte werden dabei insbesondere behandelt: • Fourieranalyse von Signalen • Signalanalyse mittels Zeit-Frequenz-Transformationen • Parametrische und nichtparametrische Signalanalyse • Verfahren zur Frequenzschätzung • Räumliche Signalanalyse • Filterbänke und Wavelets. In this course, different approaches for the analysis of digital signals and their applications are treated, which comprises the following topics: • Fourier analysis of signals • Signal analysis by means of time-frequency transformations • Parametric and non-parametric signal analysis • Frequency estimation • Spatial signal analysis • Filter-banks and wavelets.	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • beschreiben, welche Methoden der Signalanalyse für unterschiedlichen Arten von Signalen angewendet werden • beschreiben grundlegende Methoden der spektralen Signalanalyse • erläutern wodurch die spektrale und zeitliche Auflösung bei der Spektralanalyse von Signalen begrenzt wird • beschreiben die Konzepte sowie die Vor- und Nachteile der parametrischen und nichtparametrischen Signalanalyse • erklären unterschiedliche Verfahren der Zeit-Frequenz-Analyse • stellen die Analyse von Signalen mittels Filterbänke und Wavelets dar • können Verfahren zur Frequenzschätzung erläutern • formulieren Verfahren zur Analyse räumlicher Signale. The students • describe which methods for signal analysis can be applied for different types of signals • describe fundamental approaches for spectral signal analysis • explain the limiting factors for the time and frequency resolution for the spectral analysis of signals • describe concepts as well as the pros and cons of parametric and non-parametric signal analysis	

		• explain different approaches for time-frequency analysis • describe the analysis of signals by means of filter-banks and wavelets • explain methods for frequency estimation • formulate approaches for spatial signal analysis.
7	Prerequisites	Fundierte Kenntnisse in digitaler Signalverarbeitung. Requirements Solid knowledge in digital signal processing
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 min. Oral examination of 30 min duration.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	P. Stoica und R. Moses: "Spectral Analysis of Signals", Pearson Prentice Hall, 2005

1	Module name 498723	Transformationen in der Signalverarbeitung Transforms in signal processing	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Transformationen in der Signalverarbeitung (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Jürgen Seiler	

4	Module coordinator	Jürgen Seiler
5	Contents	Das Modul "Transformationen in der Signalverarbeitung" behandelt mehrere verschiedene Transformationen, die im Rahmen der Signalverarbeitung Verwendung finden. Dabei werden zuerst die grundlegenden Konzepte von Transformationen diskutiert und die Vorteile die Transformationen mit sich bringen erläutert. Im Anschluss daran werden die grundlegenden Eigenschaften von Integraltransformationen betrachtet und die Laplace- und die Fourier-Transformation im Detail untersucht. Um auch zeitlich veränderliche Signale gut transformieren zu können werden danach die Kurzzeit-Fourier-Transformation und die Gabor-Transformation eingeführt. Im Anschluss daran erfolgt eine Betrachtung der Auswirkung der Abtastung auf transformierte Signale, bevor die z-Transformation als Transformation für diskrete Signale behandelt wird. Abschließend erfolgt die Betrachtung weiterer Transformationen für diskrete Signale wie der Diskreten Fourier-Transformation oder linearer Block-Transformationen. The module "Transforms in Signal Processing" covers several different transforms which are used in the field of signal processing. For this, first the basic concepts of transforms are discussed and the advantages which are offered by the different transforms are presented. Subsequent to this, fundamental properties of integral transforms are considered and the Laplace- and the Fourier-Transform are examined in detail. To be able to transform time-varying signals, the Short-Time Fourier-Transform and the Gabor-Transform are introduced, afterwards. Subsequent to this, the impact of sampling on transformed signals is analyzed before the z-Transform as a transform for discrete signals is covered. Finally, further transforms for discrete signals like the Discrete Fourier-Transform or Linear-Block Transforms are discussed.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden können nach Besuch der Vorlesung • Anwendungsmöglichkeiten von Transformationen bestimmen • Integraltransformationen gegenüberstellen und untersuchen • die Existenz von Transformationen hinterfragen • die Eindeutigkeit von Transformationen überprüfen • Sätze und Eigenschaften von Transformationen entwickeln • zu Transformationen zugehörige inverse Transformationen einschätzen • die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Transformationen einschätzen • auf Zusammenhänge zwischen Ausgangssignalen und transformierten Signalen folgern • Symmetriebeziehungen von Transformationen ausarbeiten

		• Zusammenhänge zwischen kontinuierlichen und diskreten Signalen ausarbeiten Educational Objectives and Competences: After attending the lecture, students will be able to • determine applications of transforms • contrast and examine integral transforms • question the existence of transforms • evaluate the uniqueness of transforms • develop theorems and properties of transforms • evaluate to transforms corresponding inverse transforms • evaluate the relationships between different transforms • assess the relationship between original signal and transformed signals • devise the symmetry properties of transforms • devise the relationship between continuous and discrete signals
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Mündliche Prüfung von 30 min Dauer.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	K. Krüger, Transformationen - Grundlagen und Anwendungen in der Nachrichtentechnik, Vieweg Verlag, Braunschweig B. Girod, R. Rabenstein, A. Stenger, Einführung in die Systemtheorie, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart

1	Module name 502007	Musiksignalverarbeitung - Synthese Music processing - synthesis	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Maximilian Schäfer	
5	Contents	• Verarbeitung von Audiosignalen durch parametrische Filter und Effekte • Erzeugung von künstlichen Klängen mit Mitteln der digitalen Klangsynthese • Klangwiedergabe in echten und virtuellen Räumen • Klangbeispiele und Demonstrationen • Programmiersprachen für Audio-Echtzeit-Verarbeitung *Content*: • a short history of electrical and electronic music • processing of audio signals by parametric filters and effects • digital sound synthesis • sound reproduction in real and in virtual environments • sound examples and demonstrations • programming languages for audio real-time processing	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • beschreiben die speziellen Anforderungen für Audio-Echtzeit-Verarbeitung, • wenden ihre theoretischen Kenntnisse zeitdiskreter Signale und Systeme für die Verarbeitung und Erzeugung musikalischer Klänge an, • gestalten eigene Software-Realisierungen zur Klangsynthese, • entwerfen technische Systeme für musikalisch motivierte Aufgabenstellungen. The students • specify the special requirements for audio realtime processing, • apply their theoretical knowledge about discrete-time signals and systems to processing and synthesis of musical sounds, • design their own software realizations for sound synthesis • implement technical systems for digital music.	
7	Prerequisites	None	
8	Integration in curriculum	semester: 1	
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222	
10	Method of examination	Oral Die Prüfung ist eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 Minuten. / The form of examination is an oral exam of 30 minutes.	

11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 788996	Speech Enhancement Speech enhancement (oral examination)	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Emanuël Habets
5	Contents	*Course Description* We live in a noisy world! In all applications related to speech, from hands-free communication to human-machine interfaces, a speech signal of interest captured by one or more microphones is contaminated by noise and reverberation. The quality and intelligibility of the signal of interest depend highly on the level of noise and reverberation. Therefore, it is highly desirable, and sometimes even indispensable, to "clean up" the captured signals before storage, transmission, or reproduction. This course discusses both model-driven and data-driven methods to estimate the signal of interest. It aims to provide a strong foundation for researchers, engineers, and graduate students interested in signal and speech enhancement. *Relation to other courses* This course is the most advanced course offered by the university on this topic, and serves as an excellent basis from which to commence research in the area. Various aspects of the course bring students up to date with the very latest developments in the field, as seen in recent international conferences and journals. This course is well complimented by [Selected Topics in Perceptual Audio Coding] (Prof. Herre) and [Auditory Models] (Prof. Edler).
6	Learning objectives and skills	Students • Formulate the speech enhancement problem mathematically. • Derive optimal single- and multi-channel filters to reduce noise and reverberation. • Evaluate and compare the performance of single- and multi-channel filters for speech enhancement. • Understand how reference signals and other prior information can be used in a speech enhancement system. • Understand the limitations and challenges of existing speech enhancement systems. • Understand the importance of binaural cues and the influence of a speech enhancement system on the binaural cues in the context of hearing aids. • Design a microphone array and analyze its performance. • Design a speech enhancement system for a given acoustic scenario. • Evaluate both subjectively and objectively the performance of a speech enhancement system in terms of the speech quality and intelligibility.

7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral oral examination (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 947709	Auditory Models Auditory models	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Auditory Models (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler
5	Contents	• Main components of the human auditory system • Common models • Mechanical models • Physiological models • Psychoacoustic models • Applications (hearing aids, audio coding, . . .)
6	Learning objectives and skills	Goals • Students understand the structure and function of the human auditory system • Students gain deeper insight into psychoacoustic phenomena, such as masking, directional and spatial hearing • Students implement and evaluate perceptual models for various applications • Students collaborate with scientists in the fields of audiology and neuroscience
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The form of examination is an oral exam of 30 minutes.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 302148	Musiksignalverarbeitung - Analyse Music processing - Analysis	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Meinard Müller
5	Contents	Music signals possess specific acoustic and structural characteristics that are not shared by spoken language or audio signals from other domains. In fact, many music analysis tasks only become feasible by exploiting suitable music-specific assumptions. In this course, we study feature design principles that have been applied to music signals to account for the music-specific aspects. In particular, we discuss various musically expressive feature representations that refer to musical dimensions such as harmony, rhythm, timbre, or melody. Furthermore, we highlight the practical and musical relevance of these feature representations in the context of current music analysis and retrieval tasks. Here, our general goal is to show how the development of music-specific signal processing techniques is of fundamental importance for tackling otherwise infeasible music analysis problems.
6	Learning objectives and skills	Expertise Understand - The students present central tasks in music processing in their own words and outline possible solutions. - The students understand the properties of different forms of representation of music. Apply - The students apply basic algorithms for the analysis and comparison of music signals. - Students can predict how different musical properties will affect the signal analysis. Analyze - The students observe and discuss the meaning and impact of parameters in music analysis. - The students compare different methods of analyzing periodicities. Evaluate - The students question assumptions that are often implicitly made when using analytical methods. - Students estimate when methods might work when analyzing specific music signals and when they typically fail. Learning and methodological skills - The students prepare for the lecture using selected literature and Jupyter notebooks. - The students question existing approaches regarding their applicability in practice.

- The students pay attention to efficiency issues in the algorithms discussed.

Self-competence

- The students question their understanding of what they have learned using exercises.
- The students formulate questions and ask them to the lecturer and the audience in the lecture.

Social skills

- The students independently organize learning groups in which the subject is discussed and deepened.
- The students simulate oral exams with their fellow students.

Fachkompetenz

Verstehen

- Die Studierenden stellen zentrale Aufgabenstellungen der Musikverarbeitung in eigenen Worten dar und skizzieren Lösungsansätze.
- Die Studierenden verstehen die Eigenschaften von unterschiedlichen Darstellungsformen von Musik.

Anwenden

- Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen zur Analyse und zum Vergleich von Musiksignalen an.
- Die Studierenden können voraussagen, wie sich unterschiedliche musikalische Eigenschaften bei der Signalanalyse auswirken.

Analysieren

- Die Studierenden beobachten und diskutieren die Bedeutung und Auswirkung von Parametern bei der Musikanalyse.
- Die Studierenden stellen unterschiedliche Verfahren bei der Analyse von Periodizitäten gegenüber.

Evaluierten (Beurteilen)

- Die Studierenden hinterfragen Annahmen, die implizit bei der Verwendung von Analysemethoden gemacht werden.
- Die Studierenden schätzen ein, wann Methoden bei der Analyse von gewissen Musiksignalen funktionieren könnten und wann sie typischerweise versagen.

Lern- bzw. Methodenkompetenz

- Die Studierenden bereiten sich auf die Vorlesung anhand ausgewählter Literatur vor.
- Die Studierenden hinterfragen bestehende Ansätze hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis.
- Die Studierenden beachten Fragen der Effizienz bei den diskutierten Algorithmen.

Selbstkompetenz

- Die Studierenden hinterfragen ihr Verständnis von dem Gelernten anhand von Übungsaufgaben.
- Die Studierenden formulieren Fragen und stellen diese in der Vorlesung an den Dozenten und die Zuhörerschaft.

Sozialkompetenz

		• Die Studierenden organisieren selbständig Lerngruppen, in denen der Stoff diskutiert und vertieft wird. • Die Studierenden simulieren mit ihren Kommilitonen mündliche Prüfungen.
7	Prerequisites	In this course, we discuss a number of current research problems in music processing or music information retrieval (MIR) covering aspects from information science and digital signal processing. We provide the necessary background information and give numerous motivating examples so that no specialized knowledge is required. However, the students should have a solid mathematical background. The lecture is accompanied by readings from textbooks or the research literature. Furthermore, the students are required to experiment with the presented algorithms using Python.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Die Prüfung ist eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 Minuten. / The form of examination is an oral exam of 30 minutes.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 668129	Machine Learning in Communications Machine learning in communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci
5	Contents	Recently, in many areas of wireless communications such as wireless sensor networks (WSNs), heterogeneous networks and complex ad hoc networks, distributed graph algorithms and machine learning on graphs are gaining relevance as fundamental tools in network analysis and information processing. This motivates to deliver a general introduction to fundamentals of machine learning such as detection of clusters on graphs. The introduction is followed by the application of machine learning to the design of physical and data layer techniques in wireless communications and in the optimization of mobile networks.
6	Learning objectives and skills	The students • know and explain the fundamentals of machine learning with special attention to machine learning over graphs. • apply these principles in the design and optimisation of wireless communications systems and mobile networks.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The examination is a 30-minute oral exam. The examination language is English.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 44400	Radar Signal Processing Radar signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Gerhard Krieger
5	Contents	Radar is a key technology for a growing number of sensing tasks that range from the detection, location and tracking of moving objects to high-resolution imaging of surfaces, sub-surfaces and 3-D volumes. While the traditional radar applications focused on aerospace security, weather services and traffic surveillance, radar is now becoming a central contactless sensor technology for the automotive sector, medical diagnostics, gesture control, civil engineering, as well as large scale environmental and climate change monitoring, to name only a few. Associated with the new applications is an increasing demand for advanced signal processing techniques to extract the relevant information from the microwave echoes acquired by single- and multi-aperture radar systems in complex environments. This lecture will give an overview of a variety of one-, two-, and three-dimensional radar signal and image processing algorithms and their application for different sensing tasks. The theoretical derivations are complemented by computer examples and simulations that form an integral part of both the lecture and the exercises. The lecture covers the following topics: • Introduction (radar principles & applications, signal & noise models, interference, Doppler shift) • Basics of Signal Processing with Python (Jupyter Notebooks) • Data Acquisition (I/Q demodulation, complex signal representation, sampling, quantization) • Range Processing (radar waveforms, pulse compression, ambiguity function, sidelobe reduction) • Doppler Processing (MTI, clutter suppression, range-Doppler ambiguities, spectral estimation) • Detection Theory (target models, Neyman-Pearson criterion, CFAR detector, CRBs) • Multi-Channel Processing (spatial filtering, interference suppression, adaptive beamforming) • Synthetic Aperture Radar (basics of coherent imaging, SAR data model, time-domain processing) • SAR Focusing Algorithms (range-Doppler, chirp scaling, motion compensation, autofocus) • SAR Image Analysis (image statistics, speckle filtering, segmentation, classification) • Radar Polarimetry (wave representations, scattering models, polarimetric decomposition) • Interferometry (interferometric processing chain, statistical performance models, applications)

		• Tomography (principles of 3-D imaging, tomographic processing, remote sensing applications) • Space-Time Adaptive Processing (GMTI, optimum processor, pre- & post-Doppler STAP) • Advanced Topics (bi- & multistatic radar, MIMO radar, compressive sensing)
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Verstehen • understand the basic principles and applications of radar systems • understand the statistical properties of SAR images and their combinations • understand current developments associated with bi- and multistatic SAR, MIMO radar, etc. Anwenden • implement signal processing algorithms for radar detection and parameter estimation • use performance metrics for the evaluation of radar systems and signal processing algorithms • focus coherent radar raw data into high-resolution SAR images • apply space-time adaptive processing techniques for ground moving target indication Analysieren • select and apply spectral processing techniques for clutter and interference suppression • simulate the performance of radar systems in complex environments Erschaffen • combine multiple complex-valued SAR images into higher-level information products
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, aber grundlegende Kenntnisse erforderlich in • Signal- und Systemtheorie, • Wahrscheinlichkeitstheorie • Lineare Algebra. Von Vorteil wären zudem Vorkenntnisse auf einem Teil der folgenden Gebiete: • statistische Signalverarbeitung • Hochfrequenztechnik • Radarsysteme • Nachrichtentechnische Systeme.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral

		Prüfungsform: mündlich (30 Minuten)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• The handouts distributed at the beginning of each lecture cover the entire material and are fully sufficient for exam preparation. • ◦ M. Richards, Fundamentals of Radar Signal Processing, McGraw-Hill, 2nd ed., 2014 ◦ I. Cumming, F. Wong, Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data, Artech House, 2004 ◦ J. Curlander, R. Donough, Synthetic Aperture Radar Systems & Signal Processing, Wiley, 1991 ◦ F. Ulaby, D. Long, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Michigan Press, 2014 ◦ C. Oliver, S. Quegan, Understanding Synthetic Aperture Images, Scitech, 2004 ◦ H. Van Trees, Optimum Array Processing, Wiley Interscience, 2002 ◦ J. Guerci, Space-Time Adaptive Processing for Radar, Artech House, 2nd ed., 2015 ◦ R. Hanssen, Radar Interferometry, Kluwer Academic Publishers, 2001 ◦ J. Li, P. Stoica, MIMO Radar Signal Processing, Wiley, 2008

1	Module name 96314	Virtual Vision Virtual vision	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	PD Dr. Christian Herglotz
5	Contents	Menschliches Sehen Sichtfeld und Fovea Dynamic Range Stereoskopie Eigenschaften der Lichtfeldfunktion • Helligkeit • 3D und Tiefe • Farben • Räumliche und zeitliche Auflösung Energieeffizienz in der Videokommunikation. Content: Human Vision Field of view and fovea Dynamic Range Stereoscopy Properties of the light field funtion • Brightness • 3D and depth • Colors • Spatial and temporal resolution Energy efficiency in video communications
6	Learning objectives and skills	The students • give an overview on basic properties of the human visual system • know and explain all hardware and software components necessary to perform video capturing, processing, and display. • describe differences and properties of video formats such as fisheye, 360°, or high dynamic range • distinguish video formats and discuss advantages and disadvantages • show real-time demonstrations of these video formats with common portable devices • assess the quality and the compression performance of video formats • come up with new strategies to improve processing algorithms like stitching or compression.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Mündliche Prüfung von 30 min Dauer
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester Die Prüfung wird noch angeboten jedoch nicht mehr die Vorlesung.
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literaturhinweise werden in der Vorlesung gegeben. References for further reading will be given in the lecture.

Specialization Embedded Systems: Compulsory elective module INF

1	Module name 43195	Reconfigurable Computing Reconfigurable computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Content: Reconfigurable (adaptive) computing is a novel yet important research field investigating the capability of hardware to adapt to changing computational requirements such as emerging standards, late design changes, and even to changing processing requirements arising at run-time. Reconfigurable computing thus benefits from a) the programmability of software similar to the Von Neumann computer and b) the speed and efficiency of parallel hardware execution. The purpose of the course reconfigurable computing is to instruct students about the possibilities and rapidly growing interest in adaptive hardware and corresponding design techniques by providing them the necessary knowledge for understanding and designing reconfigurable hardware systems and studying applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. After a general introduction about benefits and application ranges of reconfigurable (adaptive) computing in contrast to general-purpose and application-specific computing, the following topics will be covered: • Reconfigurable computing systems: Introduction of available technology including fine grained look up table (LUT-) based reconfigurable systems such as field programmable gate arrays (FPGA) as well as newest coarse grained architectures and technology. • Design and implementation: Algorithms and steps (design entry, functional simulation, logic synthesis, technology mapping, place and route, bit stream generation) to implement (map) algorithms to FPGAs. The main focus lies on logic synthesis algorithms for FPGAs, in particular LUT technology mapping. • Temporal partitioning: techniques to reconfigure systems over time. Covered are the problems of mapping large circuits which do not fit one single device. Several temporal partitioning techniques are studied and compared. • Temporal placement: Techniques and algorithms to exploit the possibility of partial and dynamic (run-time) hardware reconfiguration. Here, OS-like services are needed that optimize the allocation and scheduling of modules at run-time. • On-line communication: Modules dynamically placed at run-time on a given device need to communicate as well as transport data off-chip. State-of-the-art techniques are introduced how modules can communicate data at run-time

		including bus-oriented as well as network-on-a-chip (NoC) approaches. • Designing reconfigurable applications on Xilinx Virtex FPGAs: In this part, the generation of partial bitstreams for components to be placed at run-time on Xilinx FPGAs is introduced and discussed including newest available tool flows. • Applications: This section presents applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. It covers the use of reconfigurable systems including rapid prototyping, reconfigurable supercomputers, reconfigurable massively parallel computers and studies important application domains such as distributed arithmetic, signal processing, network packet processing, control design, and cryptography.
6	Learning objectives and skills	Learning objectives and competencies: Domain-specific knowledge • The students know to exploit run-time reconfigurable design methodologies for adaptive applications. Domain-specific comprehension • The students understand the mapping steps and optimization algorithms. • The students classify different types and kinds of reconfigurable hardware technologies available today. • The students clarify pros and cons of reconfigurable computing technology. • The students summarize applications benefiting from reconfigurable computing. • The students describe the design of circuits and systems-on-a-chip (SoC) on FPGAs.
7	Prerequisites	Selection of this module prohibits the selection of the modules "Reconfigurable Computing (Lecture with Exercises)", "Reconfigurable Computing (Lecture with Extended Exercises)", or "Reconfigurable Computing with extended exercises" by the student.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Oral exam in case of less than 20 participants (duration 30 mins). Otherwise, written exam (duration 90 mins).
11	Grading procedure	Variable (100%) The exam determines the final grade of the module.
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Further reading material: • The Hamburg VHDL Archive (see Documentation link for free books) http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/research/vlsi/vhdl/index.php • Interactive VHDL Tutorial with 150 examples from ALDEC http://www.aldec.com/downloads/ • Easy FPGA tutorials, projects, and boards http://www.fpga4fun.com • Xilinx WebPack ISE and Modelsim MXE (free FPGA synthesis tool and free VHDL simulator) http://www.xilinx.com/ise/logic_design_prod/webpack.htm • Symphony EDA free VHDL simulator (select FREE Edition license) http://www.symphonyeda.com/products.htm • Icarus open-source Verilog simulator http://www.icarus.com/eda/verilog/ Further information: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/reconfigurable-computing/

1	Module name 43950	Kommunikationssysteme Communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Aus Rechnerkommunikation ist der grundlegende Aufbau von IP-basierten Netzen bekannt, Inhalt von Kommunikationssysteme sind weitere Netztechnologien wie Leitungsvermittlung (Telefonnetze, Sonet/ SDH/WDM) und Netze mit virtueller Leitungsvermittlung (ATM, MPLS) sowie Netzwerkvirtualisierung (SDN, NFV), Multimediakommunikation über paketvermittelte Netze (Streaming, RTP, SIP, Multicast), Dienstgüte in paketvermittelten Netzen (Integrated Services, RSVP, Differentiated Services, Active Queue Management, Policing, Scheduling), drahtlose und mobile Kommunikation (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, ZigBee u.a. Sensornetze). Auch Kommunikation in der Industrie wird behandelt. In der Übung werden praktische Aufgaben im Labor durchgeführt: ein Labor enthält mehrere IP-Router, Switches und Rechner, IP-Telefone und Telefonie-Software für VoIP, es werden verschiedene Konfigurationen eingestellt und getestet. Ein weiterer Übungsteil beschäftigt sich mit Mobilkommunikation. *Contents:* Based on the course computer communications the architecture of IP networks is known. Contents of this course will be additional networking technologies such as circuit switching (telephony, SONET/ SDH/WDM) and networks with virtual circuit switching (ATM, MPLS) as well as network virtualization (SDN, NFV), multimedia communications over packet switched networks (streaming, RTP, SIP, multicast), quality-of-service in packet switched networks (integrated services, RSVP, differentiated services, active queue management, policing, scheduling), wireless and mobile communications (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, sensor networks such as ZigBee). Industrial communication will also be a topic. In the tutorial practical tasks are performed in the laboratory: One laboratory contains several IP routers, switches and computers, IP phones and VoIP telephone software. Various configurations are set up and tested. Another part of the tutorial deals with mobile communications.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Kenntnisse über Technologien bei der Leitungs- und Paketvermittlung in leitungsgebundenen und drahtlosen/mobilen Netzen Kenntnisse über die Grundlagen von Dienstgütemechanismen in paketvermittelten Netzen praktische Erfahrung in der Konfiguration eines IP-Switch-Router-Netzes mit Multimediaverkehr Students obtain the following learning targets and competences

		Knowledge of technologies in circuit and packet switching in wired and wireless/mobile networks Knowledge of the foundations of quality of service mechanisms in packet switched networks Practical experience in configuring an IP switch router network with multimedia traffic
7	Prerequisites	Basic knowledge of working with the Linux command line interface (terminal).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 90, benotet, 5 ECTS Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100.0 % Die Modulprüfung besteht aus: • Bearbeitung (zwei)wöchentlicher Aufgabenblätter in Gruppenarbeit. Für diese unbenotete Studienleistung sind alle Aufgabenblätter korrekt zu lösen und abzugeben. • Klausur von 90 Minuten
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7th Ed., Pearson Education, 2017 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pear-son Education, 2016 Cox. An Introduction to LTE. Wiley, 2012

1	Module name 44240	Grundlagen des Übersetzerbaus Foundations of compiler construction	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Michael Philippsen
5	Contents	[Deutsch:] Auf den ersten Blick erscheint es wenig sinnvoll, sich mit Übersetzerbau zu beschäftigen. Andere Themen scheinen wesentlich näher an der direkten Anwendbarkeit in der industriellen Praxis. Der erste Blick täuscht: • Übersetzer gehören wohl zu den am gründlichsten studierten mittelgroßen sequentiellen Software-Systemen. Man kann viel aus den Erfahrungen lernen, die im Laufe der Jahre gesammelt wurden. • In den Übungen, die die Vorlesung begleiten, werden Sie selbst einen (kleinen) Übersetzer entwickeln. • Für viele Teilnehmer wird dieses Projekt das erste größere Software-Projekt sein. Viele der Algorithmen aus dem Grundstudium werden angewendet. • Bei jedem von Ihnen verwendeten Übersetzer gehen Sie in der Regel davon aus, dass richtiger Coder erzeugt wird. In der Vorlesung erfahren Sie, wie das geforderte hohe Maß an Korrektheit und Zuverlässigkeit erreicht wird. • Sie erlangen ein Verständnis für Konzepte von Programmiersprachen und verstehen, welcher Maschinen-Code aus Sprachkonstrukten gemacht wird. Mit diesem Wissen im Hinterkopf verbessern Sie Ihre Fähigkeit, gute und effiziente Programme zu schreiben. • Übersetzer werden nicht nur für Programmiersprachen benötigt. Spezielle Übersetzer braucht man in vielen Bereichen des täglichen Informatik-Lebens z.B. zur Textformatierung, für Programmtransformationen, für aspektorientiertes Programmieren, für die Verarbeitung von XML, ... • Es gehört zu einer Ingenieur-Ausbildung, in der Lage zu sein, diejenigen Werkzeuge selbst zu fertigen, die man verwendet. Für Informatiker gehört daher ein Verständnis vom Innenleben eines Übersetzers zum Rüstzeug. Fokus der Lehrveranstaltung: Es werden Konzepte und Techniken der Übersetzerkonstruktion aus Sicht eines Übersetzerbauers und entlang der wesentlichen Arbeitsschritte eines Übersetzers (Frontend; Mittelschicht; Backend) vorgestellt. Übungen und Praxisaufgaben ergänzen die Vorlesung. Hier entwickeln die Studierenden auf der Basis eines vorgegebenen Programmrahmens einen eigenen Übersetzer für

die Programmiersprache e2, die speziell für den Übersetzerbau-Vorlesungszyklus entworfen wurde.

Behandelte Themenfelder:

- Prinzipien der Übersetzung imperativer Programmiersprachen
- Struktur eines Übersetzers
- Symbolentschlüssler (Scanner) und Zerteiler (Parser)
- Abstrakter Syntaxbaum (AST)
- Besuchermuster
- AST-Transformationen, Entzuckerung
- Symboltabellen und Sichtbarkeitsbereiche
- Semantische Analyse: Namensanalyse, Typprüfung
- Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken und Kontrollflusskonstrukten in registerbasierte oder stapelbasierte Zwischensprachen
- Übersetzung von Methoden und Methodenaufrufen; Methodenschachteln
- Übersetzung objektorientierter Sprachen mit Einfachvererbung, Schnittstellen und Mehrfachvererbung
- Methodenauswahl in Java (überladene und überschriebene Methoden)
- Code-Generierung nach Sethi-Ullmann, Graham-Glanville, per Baumtransformation sowie mit Hilfe dynamischer Programmierung
- Registerallokation mit lokalen Techniken und mit Graphfärbung
- Instruktionsanordnung mit "list scheduling"
- Debugger

Themen der Vorlesungseinheiten:

1. Einführung (Überblick, modulare Struktur von Übersetzern, Frontend, Mittelschicht, Backend), Bootstrapping)
2. Symbolentschlüssler (Lexer) und Zerteiler (Parser), (Token, Literale, Symboltabelle, Grammatikklassen (LK(k), LL(k), ...), konkreter Syntaxbaum, Shift-Reduce-Parser)
3. AST und semantische Analyse (abstrakter Syntaxbaum, Besuchermuster, Double Dispatch, Sichtbarkeitsbereiche, Definitionstabelle)
4. Typkonsistenz (Typsicherheit, Typsystem, Typüberprüfung, Typberechnung, Typkonvertierung, attributierte Grammatiken)
5. AST-Transformationen (Transformationsschablonen für Ausdrücke, Transformation innerer und generischer Klassen)
6. Transformation in Zwischensprache (registerbasiert versus stapelbasiert, Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken, Zuweisungen, mehrdimensionalen Feldern, struct-Datentypen und Kontrollflussstrukturen (einschließlich Kurzschlussauswertung))
7. Methodenschachteln und Kellerrahmen (relative Adressen, call by value/reference/name, geschachtelte Funktionen, Funktionszeiger, Stack- und Framepointer, Funktionsaufruf, Prolog, Epilog)
8. Objektorientierte Sprachen I: Einfachvererbung (Symbol- und Typanalyse, Methodenauswahl mit Überschreiben und Überladen,

virtuelle Methodenaufrufe, Klassendeskriptoren, dynamische Typprüfung und -wandlung)

9. Objektorientierte Sprachen II: Schnittstellen und Mehrfachvererbung (Interface v-Tables, dynamische Typprüfung und -wandlung mit Interfaces, Interfaces mit Default-Implementierung, Diamantenproblem)

10. Einfache Code-Erzeugung (Code-Selektion nach Sethi-Ullman, Register-Allokation, Instruktionsreihenfolge, optimale Code-Erzeugung für Ausdrucksbäume)

11. Fortgeschrittene Code-Erzeugung (Baumtransformation, Graham-Glanville, dynamisches Programmieren)

12. Registerallokation (Leistungsabschätzung, Lebendigkeitsintervalle, Kollisions- und Interferenzgraph, Spilling, Färbungsheuristiken, Aufteilung von Lebendigkeitsintervallen, 2nd Chance Bin Packing, Registerverschmelzung)

13. Parallelismus auf Instruktionsebene, Instruktionsreihenfolge, Debugger (Konflikte im Instruktionsfließband, List Scheduling, Delay-Slots, Sprungzielvorhersage, ptrace, Unterbrechungs- und Beobachtungspunkte, DWARF)

Meilensteine der Übungsbetriebs:

Im Rahmen der Übungen (siehe entsprechende Lehrveranstaltung) werden die in der Vorlesung vorgestellten Konzepte und Techniken zur Implementierung eines Übersetzers in die Praxis umgesetzt. Ziel der Übungen ist es, bis zum Ende des Semesters einen funktionsfähigen Übersetzer für die Beispiel-Programmiersprache e2 zu implementieren. Ein Rahmenprogramm ist gegeben, das in fünf Meilensteinen um selbstentwickelte Schlüsselkomponenten zu erweitern ist.

Folgende Meilensteine sind zu erreichen:

Meilenstein 1: Grammatik, AST-Konstruktion: Antlr-Produktionen, AST-Besucherschnittschelle, generischer AST-Besucher für return und Schleifen, AST-Besucher zur Visualisierung.

Meilenstein 2: Symbolanalyse, Symboltabelle, Standardfunktionen, AST-Besucher für die Symbolanalyse.

Meilenstein 3: Konstantenfaltung per AST-Transformation, Typanalyse mit bottom-up AST-Besuch, der implizite Typwandlungen bei Bedarf ergänzt.

Meilenstein 4: AST-Besucher zur Erzeugung der Zwischensprachrepräsentation, Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken, return, Zuweisungen, logischen Ausdrücken, Bedingungen und Schleifen.

Meilenstein 5.0: Speicherzuteilung: Festlegung und Umsetzung der ABI Aufrufkonvention, Zuweisung von Speicheradressen zu Variablen; Kellerrahmenallokation; caller-save und callee-save Register.

Meilenstein 5.1: Code-Erzeugung: Implementierung der e2 Standardbibliothek; IR-Besucher zur Erzeugung von Assembly-Code.

Für die Meilensteine 1-3 soll der Übersetzer sowohl Integer- als auch Gleitkomma-Arithmetik unterstützen. Für die nachfolgenden Meilensteine reicht Integer-Arithmetik.

[English:]

The lecture teaches concepts and techniques of compiler construction from a compiler developer view, following the structure of the compiler frontend, middle end, and backend. Exercise sessions and practical assignments complement the lecture; the students implement their own compiler (based on a framework) for the e2 programming language, which is designed for this series of compiler construction lectures.

Content Summary

- Principles of compiling imperative programming languages
- Structure of a compiler
- Scanner and parser
- Abstract syntax trees (ASTs)
- Visitor design pattern
- AST transformations, desugaring
- Symbol tables and scopes
- Semantic analysis: name analysis, type checking
- Compilation of arithmetic expressions and control flow structures to register-based and stack-based intermediate languages
- Compilation of functions and function calls, activation records
- Compilation of object-oriented languages with single inheritance, interfaces, and multiple inheritance
- Method resolution in Java (overloaded and overridden methods)
- Code generation with Sethi-Ullmann algorithm, Graham-Glanville algorithm, tree transformations, and dynamic programming
- Register allocation with local techniques and graph coloring
- Instruction scheduling with the list scheduling technique
- Debuggers

Lecture Topics

- 1. Introduction: Class overview, modular structure of compilers (front-, middle-, and backend), compilation bootstrapping
- 2. Lexer and Parser: Tokens, literals, symbol table, grammar classes (LR(k), LL(k), ...), concrete syntax tree, shift-reduce parser
- 3. ASTs and semantic analysis: Abstract syntax tree, visitor pattern, double dispatch, scopes, definition table
- 4. Type consistency: Type safety, type system, type checks, type inference, type conversions, attributed grammars
- 5. AST transformations: Transformation patterns (arithmetics), transformation of nested and generic classes
- 6. Intermediate representations: Types of IRs, arithmetic operations, assignments, multidimensional array access, structs, control flow instructions, short-circuit evaluation
- 7. Activation record and stack frame: Relative addresses, call by value/reference/name, nested functions, function pointers, stack pointer and frame pointer, function calls: prolog and epilog

- 8. Object-oriented languages: single inheritance: Symbol and type analysis, method selection with method overloading and overriding, virtual method calls, class descriptors, dynamic type checks and casts
- 9. Object-oriented languages II: interfaces, multiple inheritance: Interface v-tables, dynamic type checks and casts with interfaces, interfaces with default implementations and state, diamond problem, virtual inheritance
- 10. Basic code generation: Code selection, register allocation, instruction order, basic blocks, optimal code generation for expression trees
- 11. Optimized code selection: Code selection as tree transformation, Graham-Glanville code generators, dynamic programming
- 12. Optimized register allocation: Performance approximations, liveness analysis, collision and interference graph, register spilling, coloring heuristics, optimistic extension, live range splitting, register coalescing, data structures
- 13. Instruction level parallelism, instruction order, debugger: Data, structural, and control conflicts in CPU pipelines, list scheduling, delay slots, branch predictions, superscalar and VLIW architectures, ptrace, break- and watch-points, DWARF

Assignment Milestones

For the assignments of this course, the students put the concepts and techniques presented in the lecture for implementing a compiler into practice. The goal of the assignments is to implement a functional compiler for the e2 programming language by the end of the semester. The e2 language is specifically designed for educational purposes; the students obtain a description of the language.

A framework for the implementation is provided to the students. The students implement the core components of the compiler in five milestones.

All milestones need to be fulfilled to pass the module; the last milestone contains two tasks. In particular, the milestones are:

- Milestone 1: Grammar definition and construction of the AST: ANTLR productions, AST visitor interface, and generic AST visitor for array accesses and return and loop statements; AST visitor for AST visualization.
- Milestone 2: Name analysis: symbol table; declaring standard functions; AST visitor for name analysis.
- Milestone 3: Constant folding and type analysis: AST transformations for constant folding; AST visitor for bottom-up type analysis, adding AST nodes for implicit casts;
- Milestone 4: AST translation to intermediate representation: AST visitor to generate IR; translation of arithmetic, return, and assign statements, logical expressions, conditions, loops.
- Milestone 5.0: Memory assignment: definition and implementation of the ABI calling convention; memory

		assignment of variables; stack frame allocation; caller-save and callee-save registers. • Milestone 5.1: Code generation: implementation of the e2 standard library; IR visitor to generate assembly code. For milestones one through three, the compiler needs to support both integer and floating-point arithmetic. For the last two milestones, only integer arithmetic is required.
6	Learning objectives and skills	[Deutsch:] Die Studierenden • nennen die typischen Aufgaben und Datenstrukturen eines Übersetzers • erläutern das Konzept des Bootstrapping • beschreiben Struktur und Arbeitsweise eines Abtasters (Scanner) und zeigen Grenzen und Problemfälle auf • wenden Grammatiken zur Konstruktion von Zerteilern (Parser) an • kennen die Komplexität eines Zerteilers für Java • beschreiben die wichtigsten Aufgaben der semantischen Analyse und wenden diese am Beispiel verschiedener Programmiersprachen (insbesondere Java) an • skizzieren typische AST-Transformationen am Beispiel des Java-Übersetzers • veranschaulichen die Grundzüge der Java-Kellermaschine und die zugehörige Transformation von Quell- zu Byte-Code • analysieren die Unterschiede zwischen Programmiersprachen hinsichtlich Felder und Verbund-Strukturen • erläutern die Verwendung von Stapel- und Kellerspeicher bei der Programmausführung • kennen verschiedene Maschineninstruktionssätze • optimieren die Registerverwendung vor der Generierung von Maschinencode • wenden das Verfahren von Graham & Glanville zur Erzeugung von Maschinencode an • erkennen Grenzen der Optimierung bei der Code-Generierung und analysieren alternative Strategien • beschreiben den Unterschied zwischen statischer und dynamischer Ablaufplanung • untersuchen Besonderheiten des Übersetzerbaus für objekt-orientierte Sprachen • ergänzen einen vorgegebenen Abtaster und abstrakten Syntaxbaum, um alle Sprachkonstrukte einer Beispielsprache zu unterstützen • implementieren Konstantenfaltung, den Aufbau der Symboltabelle und Typprüfung auf dem abstrakten Syntaxbaum • erzeugen Zwischencode aus dem abstrakten Syntaxbaum • bilden Kontrollstrukturen auf Sprünge ab • veranschaulichen die Adressierung von (mehrdimensionalen) Feldern

- entwickeln Konventionen für Funktionsaufrufe und den Aufbau des Stacks
- berechnen Offsets fuer Variablen auf dem Stack.
- implementieren eine einfache Registervergabe.
- kennen Details verschiedener Prozessorarchitekturen
- generieren Maschinencode für mindestens eine Prozessorarchitektur
- implementieren eine Laufzeitbibliothek
- wenden Debugging für maschinennahen Code an

[English:]

Students who have successfully completed the module will have the ability to

- identify the components and data structures of a compiler
- explain the concept of bootstrapping
- describe the structure and operation of a lexer and show limitations and problem cases
- use grammars for the construction of parsers
- know the complexity of Java parsers
- describe the main tasks of semantic analysis and apply them to different programming languages (especially Java)
- outline typical AST transformations using the Java compiler as an example
- illustrate the basic features of the Java Virtual Machine (JVM) and the corresponding transformation from source to byte code
- analyze the differences between programming languages in terms of arrays and compound structures
- explain the use of stack memory in program execution
- know different machine instruction sets
- optimize register allocation before generating machine code
- apply the Graham-Glanville algorithm to generate machine code
- recognize limitations of optimization in code generation and to analyze alternative strategies
- describe the difference between static and dynamic scheduling
- examine features of compiler construction for object-oriented languages
- augment a given lexer and abstract syntax tree to support all language constructs in an example language
- implement constant folding, symbol table construction, and type checking on the abstract syntax tree
- generate intermediate code from the abstract syntax tree
- map control structures to jumps
- translate compound boolean expressions with shortcut evaluation
- illustrate addressing of (multidimensional) arrays
- design conventions for function calls and stack frame layout
- calculate offsets for stack variables
- implement a basic register allocation.

		• know details of different processor architectures • generate machine code for at least one processor architecture • implement a runtime library • apply debugging to machine code
7	Prerequisites	Participants of this lecture are expected to have profound skills in the following programming languages: • Java (assignments are implemented in Java) • Assembler
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 50 h Independent study: 175 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• "Modern Compiler Implementation in Java", A.W. Appel, Cambridge University Press, 1998 • "Compilers - Principles, Techniques and Tools", A. Aho, R. Sethi, J. Ullmann, Addison-Wesley, 2006 • "Modern Compiler Design", D. Grune, H. Bal, C. Jacobs, Langendoen, Wiley, 2002

1	Module name 44500	Swarm Intelligence	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Rolf Wanka
5	Contents	Swarm Intelligence (SI) is the design and deployment of self-organizing systems that dynamically adapt to their respective environmental needs. These systems are characterized by the fact that they feature the so-called self-*-properties, i.e., they are self-configuring, self-optimizing, self-healing, self-protecting, self-explanatory, ... Structures and methods of biological and other natural systems are chosen as models for such technical systems. In this module, Particle Swarm Optimization, Ant Algorithms, Web Search, and Evolutionary Algorithms are introduced and, as far as possible, mathematically analyzed.
6	Learning objectives and skills	Students learn advanced concepts of the current topic of swarm intelligence and how they can be successfully applied to solve continuous and discrete optimization problems and to data analysis. For this purpose, they know concrete details such as terms, definitions, facts, regularities and theories and learn how to apply the concepts to concrete problems, how to adjust the methods to the use case and how to analyze the computed solutions.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Ch. Müller-Schloer, Ch. von der Malsburg, R. P. Würt. Organic Computing. Informatik-Spektrum, Band 27, Nummer 4, S. 332-336.

		• I. C. Trelea. The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection. Information Processing Letters 85 (2003) 317-325. • J. M. Kleinberg. Authoritative sources in a hyperlinked environment. Journal of the ACM 46 (1999) 604-632. • M. Dorigo. V. Maniezzo. A Coloni. Ant system: an autocatalytic optimizing process. Technical Report 91-016, Politecnico di Milano, 1991. • A. Badr. A. Fahmy. A proof of convergence for Ant algorithms. Information Sciences 160 (2004) 267-279. • M. Clerc. J. Kennedy. The particle swarm - Explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 8 (2002) 58-73

1	Module name 97090	Simulation und Modellierung I Simulation and modelling I	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Das Modul vermittelt die Grundlagen der diskreten Ereignissimulation und beinhaltet • diskrete Simulation • analytische Modellierung (z.B. Warteschlangen) • Eingabemodellierung (z.B. Fitting-Verfahren) • Zufallszahlenerzeugung • statistische Ausgabeanalyse • Modellierungsparadigmen (u.a. Ereignis-/Prozessorientierung, Warteschlangen, Automaten, Petri-Netze, UML, graphische Bausteine) • kontinuierliche und hybride Simulation • Simulationssoftware • Fallstudien Content: Overview of the various kinds of simulation • discrete simulation (computational concepts, simulation of queuing systems, simulation in Java, professional simulation tools) • required probability concepts and statistics, modeling paradigms (e.g., event/process oriented, queuing systems, Petri nets, UML statecharts) • input modeling (selecting input probability distributions) • random number generation (linear congruential generators and variants, generating random variates) • output analysis (warm-up period detection, independent replications, result presentation) • continuous and hybrid simulation (differential equations, numerical solution, hybrid statecharts) • simulation software, case studies, parallel and distributed simulation.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erwerben Kenntnisse über Verfahren und Realisierungsmöglichkeiten der diskreten Simulation mit Ausblick auf andere Simulationsarten • erwerben Kenntnisse über statistische Aspekte der Simulation, die für die Anwendung wichtig sind • wenden statistische Methoden zur Analyse und Bewertung von Eingabe- sowie Ausgabedaten an • erwerben praktische Erfahrung mit kommerziellen Simulationswerkzeugen

		• erwerben Erfahrungen bei der Simulation in verschiedenen Anwendungsbereichen (u.a. Rechnernetze, Fertigungssysteme, Materialflusssysteme) • entwickeln eigenständig anhand von Beispielaufgaben Simulationsmodelle unter Verwendung verschiedener Modellierungsparadigmen • können in Gruppen kooperativ und verantwortlich arbeiten Learning targets and competences: Students • gain knowledge about methods and realization possibilities of discrete simulation with an outlook on other types of simulation • gain knowledge of statistical aspects of simulation that are important for practice • apply statistical methods for analysis and evaluation of input and output data • gain hands-on experience with commercial simulation tools • gain experience in simulation in various fields of application (including computer networks, manufacturing systems, material flow systems) • independently develop simulation models on the basis of sample tasks using different modeling paradigms • can work in groups cooperatively and responsibly
7	Prerequisites	elementare Programmierkenntnisse, vorzugsweise in Java, Mathematikkenntnisse in Analysis, wie z.B. im 1. Semester der angewandten Mathematik vermittelt Recommended background knowledge: basic programming skills, preferably in Java, mathematics skills in analysis, such as taught in the first semester in applied mathematics.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Prüfungsleistung/examination: Klausur, benotet, 5 ETCS/written exam, graded, 5 ETCS Dauer (in Minuten)/duration (in minutes): 90 Anteil an der Berechnung der Modulnote/Share in the calculation of the module grade: 100.0 % Die im Rahmen der Übung gestellten (zwei-)wöchentlichen Übungsaufgaben müssen bestanden werden, um das Gesamtmodul anrechnen lassen zu können. Die Übung gilt als bestanden, wenn mindestens 50% der Punkte korrekt bearbeitet wurden. Die Bearbeitung erfolgt in Gruppen von 3 oder 4 Studenten. Die Abgabe erfolgt in Präsenz zu dedizierten Übungsterminen. Wurden mindestens

		70% der Punkte erreicht, wird die Endnote der bestandenen schriftlichen Prüfung entsprechend einer Notenstufe (0.3 oder 0.4) verbessert. Wurden mindestens 90% der Punkte erreicht, wird die Endnote der bestandenen schriftlichen Prüfung entsprechend zwei Notenstufe (0.6 oder 0.7) verbessert. ----- The (bi-)weekly exercise tasks must be passed in order to receive credit for the entire module. The exercise is considered to be passed if at least 50% of the points have been correctly processed. The work is done in groups of 3 or 4 students. The submission is done in presence on dedicated exercise dates. If at least 70% of the points are achieved, the grade of the passed written exam will be improved by one grade level (0.3 or 0.4). If at least 90% of the points are achieved, the grade of the passed written exam will be improved by two grade levels (0.6 or 0.7).
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Law, "Simulation Modeling and Analysis, 5th ed., McGraw Hill, 2014

1	Module name 150033	Betriebssysteme (Vorlesung mit Übungen) Operating systems (lecture with exercises)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Volkmar Sieh
5	Contents	Inhalt des Moduls ist Vermittlung grundlegender Konzepte, Methoden und Techniken von Betriebssystemen aus dem Blickwinkel einer Betriebssystementwicklerin. Im Rahmen der Übungen entwickeln die Studierenden in einem "bottom-up" Entwurf- und Entwicklungsprozess ihr eigenes Einkernbetriebssystem für die IA-32 Plattform, ausgehend von der "nackten Hardware" über grundlegende Ein-Ausgabemöglichkeiten, Unterbrechungsbearbeitung bis hin zu quasiparalleler Programmausführung.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: - erläutern den Startvorgang eines Rechensystems am Beispiel eines x86/x86_64-PCs. - beschreiben die spezifischen Herausforderungen bei der Softwareentwicklung für "bare metal". - beschreiben den Ablauf einer Unterbrechungsbehandlung von der Hardware bis zur (System-)software. - skizzieren Besonderheiten und Strategien der Unterbrechungsbehandlung in Hardware für Mehrkernsystemen am Beispiel des IA32-APICs. - diskutieren die Aufgabenteilung zwischen Hardware und Systemsoftware bei der Unterbrechungsbearbeitung. - unterscheiden die verschiedenen Typen von Kontrollflüssen in einem Betriebssystem anhand des Ebenenmodells. - unterscheiden harte, mehrstufige, und weiche Verfahren zur Unterbrechungssynchronisation in Betriebssystemen und können diese implementieren. - klassifizieren konkrete Konkurrenzsituationen anhand des Ebenenmodells und leiten daraus geeignete Synchronisationsmaßnahmen ab. - schildern die IA32-Architektur und gängige PC-Technologie und deren Schnittstellen zur Systemsoftware. - erläutern grundlegende Bausteine für die Implementierung von Quasi-Parallelität (Fortsetzungen, Koroutinen, Fäden) und grenzen diese gegeneinander ab. - erläutern die Interaktionen zwischen Hardware, Übersetzer und Systemsoftware, die dabei zu beachten sind. - entwickeln den Koroutinenwechsel für einen gegebene Architektur. - erläutern die Implikationen von Quasi-Parallelität auf das Ebenenmodell und die daraus abgeleiteten Synchronisationsmaßnahmen. - beschreiben die Implementierung von (verdrängendem) Scheduling in einem Betriebssystem.

		- analysieren das Zusammenspiel von Scheduling und Unterbrechungssynchronisation. - nennen Kriterien und Dimensionen des Scheduling von Betriebsmitteln, insbesondere der CPU. - erläutern die konkrete Umsetzung am Beispiel der Scheduler in Linux und Windows. - unterscheiden grundlegende Möglichkeiten der Koordinierung und Synchronisation von Fäden (aktives/passives Warten, nichtverdrängbare kritische Abschnitte). - entwickeln Mechanismen für die Synchronisation auf Fadenebene. - erklären die dabei zu beachtenden Synchronisationsprobleme (lost update, lost wakeup) und geeignete Gegenmaßnahmen. - interpretieren die Bedeutung von Gerätetreibern in der Betriebssystempraxis. - erläutern die Anforderungen an ein Treibermodell. - vergleichen die Umsetzung von Treibermodellen in Windows und Linux. - vergleichen grundlegende BS-Architekturen (Bibliothek, Monolith, Mikrokern, Exokern, Hypervisor) anhand fundamentaler Charakteristika (Robustheit, Performanz, Portierbarkeit) und Mechanismen. - schildern die grundlegenden Paradigmen zur Interprozesskommunikation in Betriebssystemen (speicherbasiert vs. nachrichtenbasiert). - erläutern die grundlegenden Primitiven dieser Verfahren. - skizzieren, wie unter Anwendung dieser Primitiven höhere Synchronisationskonstrukte implementiert werden (Monitore, Leser-/Schreiber-Sperre). - illustrieren die Dualität der Paradigmen. - erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Compilerverhalten, Debuggen ohne dedizierte Hilfsmittel) und Fehlerquellen bei der hardwarenahen Softwareentwicklung. - können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. - können die ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. - reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. - können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen.
7	Prerequisites	• C/C++ (Übungsaufgaben werden in C++ implementiert) • Assembler (Grundkenntnisse)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 2022 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 2022
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Avi Silberschatz, Peter B. Galvin, Greg Gagne. Operating System Concepts. John Wiley & Sons. • Andrew S. Tanenbaum. Modern Operating Systems. Pearson. • William Stallings. Operating Systems: Internals and Design Principles. Prentice Hall. • Andrew S. Tanenbaum. Structured Computer Organization. Pearson.

1	Module name 169383	CPU Entwurf mit VHDL (Schwerpunkt Prozessorentwurf) CPU Design with VHDL (Focus on CPUs)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 179490	Echtzeitsysteme mit erweiterten Übungen Real-time systems with extended exercises	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Videobearbeitung in Echtzeit, Echtzeitstrategiespiel, echtzeitfähig - der Begriff Echtzeit ist wohl einer der am meisten strapazierten Begriffe der Informatik und wird in den verschiedensten Zusammenhängen benutzt. Diese Vorlesung beschäftigt sich mit dem Begriff Echtzeit aus der Sicht von Betriebssystemen - was versteht man eigentlich unter dem Begriff Echtzeit im Betriebssystemumfeld, wo und warum setzt man sog. Echtzeitbetriebssysteme ein und was zeichnet solche Echtzeitbetriebssysteme aus? In dieser Vorlesung geht es darum, die oben genannten Fragen zu beantworten, indem die grundlegenden Techniken und Mechanismen vermittelt werden, die man im Betriebssystemumfeld verwendet, um Echtzeitsysteme und Echtzeitbetriebssysteme zu realisieren. Im Rahmen dieser Vorlesung werden unter anderem folgende Themen behandelt: • zeitgesteuerte und ereignisgesteuerte Systeme • statische und dynamische Ablaufplanungsverfahren • Fadensynchronisation in Echtzeitbetriebssystemen • Behandlung von periodischen und nicht-periodischen Ereignissen In den begleitenden Übungen werden die in der Vorlesung vorgestellten Techniken bei der Entwicklung eines kleinen Echtzeitsystems praktisch umgesetzt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • unterscheiden die verschiedenen Komponenten eines Echtzeitsystems. • bewerten die Verbindlichkeiten von Terminvorgaben (weich, fest, hart). • erläutern die Zusammensetzung des Laufzeitverhaltes einer Echtzeitanwendung. • klassifizieren die Berührungspunkte zwischen physikalischem Objekt und kontrollierendem Echtzeitsystem. • interpretieren die Zeitparameter des durch das Echtzeitrechnungssystem zu kontrollierenden Objekts. • nennen die Zeitparameter des zugrundeliegenden Rechnungssystems (Unterbrechungslatenz, Ausführungszeit, ...). • unterscheiden synchrone und asynchrone Programmunterbrechung (insbesondere Trap/Interrupt, Ausnahmebehandlung und Zustandssicherung). • skizzieren die Verwaltungsgemeinkosten des schlimmsten Falls.

- entwickeln in der Programmiersprache C und wenden die GNU Werkzeugkette für den ARM Cortex M4 an.
- erstellen Echtzeitanwendungen auf Basis der eCos OS-Schnittstelle
- ordnen die Strukturelemente von Echtzeitanwendungen zu: Aufgabe, Arbeitsauftrag und Faden.
- erläutern die Implikationen von zeitlichem Mehrfachbetrieb auf die Verwaltungsgemeinkosten.
- unterscheiden die Umsetzungsalternativen zur Ablaufsteuerung und die Trennung der Belange in Einplanung (Strategie) und Einlastung (Mechanismus).
- benennen die grundsätzliche Verfahren der Ablaufsteuerung (taktgesteuert, reihum, vorranggesteuert).
- erklären die grundlegenden Zeitparameter einer Aufgabe (Auslösezeitpunkt, Termin, Antwortzeit, Latenz, Ausführungszeit, Schlupfzeit).
- unterscheiden die Grundlagen der Planbarkeit (gültig vs. zulässig, Optimalität von Einplanungsalgorithmen).
- beschreiben den Unterschied zwischen konstruktiver und analytischer Einhaltung von Terminen-.
- vergleiche die Möglichkeiten (statisch, dynamisch) der zeitliche Analyse von Echtzeitanwendungen.
- erklären die Grundlagen und Beschränkungen von dynamischer (worst-case?) und statischer WCET-Analyse (makroskopisch und mikroskopisch).
- illustrieren Lösungsverfahren zur Bestimmung des längsten Ausführungspfads (Timing Schema, IPET).
- erstellen Zeitmessung mittels Zeitgeber / Oszilloskop und bestimmen den längsten Pfad durch Code-Review.
- erproben und konzipieren werkzeuggestützte WCET-Analyse mittels des absint aiT Analysewerkzeugs.
- Entwickeln und annotieren Flußrestriktionen für die statische WCET-Analyse.
- beschreiben die Grundlagen der Abfertigung periodischer Echtzeitsysteme (Periode, Phase, Hyperperiode).
- skizzieren das periodische Modell und dessen Folgen (Entwicklungskomfort vs. Analysierbarkeit).
- erklären die ereignisgesteuerte Ausführung (feste und dynamische Priorität, Verdrängbarkeit) mittels ereignisorientierter Planer (Berechnungskomplexität, MLQ-Scheduler, O(1)-Scheduler).
- unterscheiden die zeitgesteuerte Ausführung (Busy Loop, Ablaufplan) und die Abfertigung von Arbeitsaufträgen im Abfrage- bzw. Unterbrecherbetrieb.
- wenden die Grundlagen der ereignisgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme an.
- unterscheiden Verfahren zur statischen (RM, DM) und dynamischen Prioritätsvergabe (EDF, LRT, LST).

- nennen den Unterschied zwischen Anwendungs- und Systemebene (Mehrdeutigkeit von Prioritäten).
- erläutern den Optimalitätsnachweis des RM-, DM- und EDF-Algorithmus und dessen Ausnahmen.
- beschreiben grundlegende Verfahren zur Planbarkeitsanalyse (CPU-Auslastung, Antwortzeitanalyse).
- implementieren komplexe Aufgabensysteme in eCos.
- unterscheiden die Grundlagen der zeitgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme.
- erstellen regelmäßige, zyklische Ablaufpläne (cyclic executive model, Rahmen).
- vergleichen Methoden der manuellen und algorithmischen Ablaufplanung.
- unterscheiden optimale von heuristischen Verfahren (List Scheduling, Branch & Bound).
- diskutieren die Konsequenzen eines Betriebswechsels in Echtzeitsystemen.
- erstellen takt- beziehungsweise ereignisgesteuerte Abläufe in eCos beziehungsweise tt-eCos.
- entwickeln ein softwarebasiertes Oszilloskop und erstellen dessen zeitliche Analyse und Ablaufplanung.
- klassifizieren die Grundlagen der Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme (minimale Zwischenankunftszeit).
- definieren die Verbindlichkeiten von nicht-periodischen Aufgaben (aperiodisch, sporadisch)
- zeigen die sich ergebenden Restriktionen des periodischen Modells (Mischbetrieb, Prioritätswarteschlangen, Übernahmeprüfung) auf.
- beschreiben die Basistechniken des Laufzeitsystems (Zusteller, Unterbrecherbetrieb, Hintergrundbetrieb).
- quantifizieren die Eigenschaften und Auswirkungen auf den periodischen Teil des Echtzeitsystems.
- formulieren die Grundlagen des Slack-Stealing.
- beschreiben den Einsatz von bandweite-bewahrenden Zustellern.
- unterscheiden aufschiebbare Zusteller und Sporadic Server (SpSL und POSIX).
- wenden eine Übernahmeprüfung bei sporadischen Aufgaben mittels dichte- oder schlupfbasierten Akzeptanztests an.
- arbeiten einen strukturierter Ablaufplan (Rahmen) aus und untersuchen den Einsatz von Slack-Stealing.
- ermitteln gerichtete Abhängigkeiten und Rangfolgen in Echtzeitanwendungen (Abhängigkeits- und Aufgabengraph).
- stellen Umsetzungsalternativen für Abhängigkeiten einander gegenüber (naiv, implizit, explizit).
- beschreiben das Konzept der zeitlichen Domänen und physikalischer bzw. logischer Ereignisse.

		• übertragen Abhängigkeiten auf das Problem der Ablaufplanung (modifiziere Auslösezeitpunkt/Termin, Phasenversatz). • konzipieren Rangfolge und aperiodische Steuerung in eCos. • implementieren einen aperiodischer Moduswechsel mit Zustandsüberführung in eCos. • gestalten einen Signal-Trigger für das entwickelte softwarebasierten Oszilloskops. • konzipieren explizite Synchronisation mittels Nachrichten in eCos. • wenden die Grundlagen von Wettstreit um Betriebsmitteln, Konkurrenz und Konfliktsituationen (kritische Abschnitte, (un)kontrollierte Prioritätsumkehr) an. • beschreiben echtzeitfähige Synchronisationsprotokolle (NPCS, PI, PCP). • nennen die Vor- und Nachteile der Techniken (transitive Blockung, Verklemmungen). • hinterfragen die Vereinfachung des PCP durch stapelbezogene Grenzprioritäten. • bestimmen die Ablaufplanung unter Berücksichtigung von Blockierungszeiten und Selbstsuspendierung. • implementieren Zugriffskontrolle (NPCS, PI, PCP) in Echtzeitanwendungen mit eCos. • analysieren Blockade für die Zugriffskontrolle in eCos. • erläutern die Anforderungen an verteilte Echtzeitsysteme (Komposition, Erweiterbarkeit, Komplexität, Ereignis- vs. Zustandsnachricht). • fassen die Grundlagen von Knoten, Netzwerkschnittstellen und Netzübergängen sowie die Konzepte der expliziten und impliziten Flusskontrolle zusammen. • erschließen sich typische Probleme (zeitliche Analyse, Beobachtbarkeit, Synchronisation, Rangfolge) und Fehlerquellen bei der Programmierung von Echtzeitanwendungen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein, eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio 30-minütige mündliche Prüfung über den gesamten Stoff der Veranstaltung. Teilnahme an den Übungen und die Bearbeitung aller Übungsaufgaben wird hierzu dringend empfohlen!
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich aus der 30-minütigen mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Hermann Kopetz. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Kluwer Academic Publishers, 1997. • Jane W. S. Liu. Real-Time Systems. Prentice-Hall, Inc., 2000. • Wolfgang Schröder-Preikschat. System-programmierung. Vorlesungsfolien. 2006.

1	Module name 211243	CPU Entwurf mit VHDL (CPU) CPU Design with VHDL (CPU)	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: CPU Entwurf mit VHDL (CPU) Übung: CPU Entwurf mit VHDL (CPU) - Übung	- -
3	Lecturers	Philipp Holzinger Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey Johannes Kliemt Thomas Schlögl	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Die Vorlesung wird einen Einblick in die wichtigsten Strukturen eines Rechners und insbesondere die der CPU geben. Wie sind die Register, die ALU, die Caches usw. aufgebaut, wie sind sie miteinander verschaltet? Wie werden Pipelines gebildet? Um die Vorlesung verstehen und die Übungsaufgaben lösen zu können, werden VHDL-Kenntnisse benötigt. Diese werden in der Vorlesung vermittelt. Im ersten Teil der Vorlesung geht es darum, aus einfachen Und-, Oder- und Inverter-Gattern größere Strukturen aufzubauen. So werden beispielsweise die Register und die Komponenten der ALU (Addierer, Multiplizierer, Shifter usw.) nach und nach aufgebaut. Aus den Einzelteilen lassen sich dann wiederum die Registerbänke, die ALU, die Speichereinheit usw. zusammensetzen. Mit guten Rechenwerken allein ist eine CPU noch nicht wirklich schnell. Es müssen schnell genug Instruktionen gelesen und dekodiert sowie die Operanden geholt werden können. Nach dem schnellen Verarbeiten in den Rechenwerken müssen die Ergebnisse dann wiederum schnell in die Zielregister bzw. Ziel-Speicherzellen kopiert werden. Das wichtigste Verfahren, um hierbei Performance zu gewinnen, ist das Pipelining. Leider gibt es eine Reihe von Bedingungen, die erfüllt sein müssen, dass Pipelining wirklich gut funktioniert. So dürfen keine Daten-Abhängigkeiten im Code vorhanden sein, müssen Sprungziele rechtzeitig bekannt sein und dürfen bestimmte Ressourcen nicht mehrfach gleichzeitig genutzt werden. Mittels Forwarding, Sprungvorhersage und Caches können die Probleme gemildert werden. Mit den so gewonnenen Fähigkeiten sind dann auch Multi-Core- und Multi-Threading-Architekturen verständlich.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden verstehen den inneren Aufbau moderner CPUs (Pipeline, Registerbänke, ALU, Caches, Memory-Management-Unit, Segmentierungseinheit, ...) und können selbst performante CPUs aus einfachen Basis-Schaltungen aufbauen.
7	Prerequisites	keine
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral

11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 333815	Rechnerarchitektur (Vorlesung mit Übung und Rechnerübung) Computer architecture	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Die Vorlesung baut auf die in den Grundlagen der Rechnerarchitektur und -organisation vermittelten Inhalte auf und setzt diese mit weiterführenden Themen fort. Es werden zunächst grundlegende fortgeschrittene Techniken bei Pipelineverarbeitung und Cachezugriffen in modernen Prozessoren und Parallelrechnern behandelt. Ferner wird die Architektur von Spezialprozessoren, z.B. DSPs und Embedded Prozessoren behandelt. Es wird aufgezeigt, wie diese Techniken in konkreten Architekturen (Intel Nehalem, GPGPU, Cell BE, TMS320 DSP, Embedded Prozessor ZPU) verwendet werden. Zur Vorlesung werden eine Tafel- und eine Rechnerübung angeboten. Die Rechnerübung erfordert 11 erfolgreich abgeschlossene Übungsaufgaben, diese gehen mit 10% in die Modulgesamtnote ein. Die verbleibenden 90% werden durch die mündliche Prüfung bestimmt. Insgesamt werden 7,5 ECTS erworben. In den Tafelübungen werden die in der Vorlesung vermittelten Techniken durch zu lösende Aufgaben vertieft. In der Rechnerübung soll u.a. ein einfacher Vielkern-Prozessor auf Basis des ZPU-Prozessors mit Simulationswerkzeugen aufgebaut werden. Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt: • Organisationsaspekte von CISC und RISC-Prozessoren • Behandlung von Hazards in Pipelines • Fortgeschrittene Techniken der dynamischen Sprungvorhersage • Fortgeschritten Cachetechniken, Cache-Kohärenz • Ausnutzen von Cacheeffekten • Architekturen von Digitalen Signalprozessoren • Architekturen homogener und heterogener Multikern-Prozessoren (Intel Corei7, Nvidia GPUs, RISC-V) • Architektur von Parallelrechnern (Clusterrechner, Superrechner) • Effiziente Hardware-nahe Programmierung von Multikern-Prozessoren (OpenMP, SSE, CUDA) • Leistungsmodellierung und -analyse von Multikern-Prozessoren (Roofline-Modell)
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Wissen Lernende können Wissen abrufen und wiedergeben. Sie können konkrete Einzelheiten wie Begriffe, Definitionen, Fakten, und Abläufe in einem Prozessor darlegen. Verstehen

		Lernende können Beispiele für Rechnerarchitekturen anführen, sie sind in der Lage, Schaubilder von Prozessoren zu interpretieren und die Abläufe in eigenen Worten zu beschreiben. Anwenden Lernende können beim Erstellen eigener Programme durch Transfer des Wissens über Interna von Prozessorarchitekturen Optimierungen hinsichtlich des Laufzeitverhaltens vornehmen. Analysieren Lernende können zwischen verschiedenen Varianten von Lösungen einer Prozessorarchitektur klassifizieren, die Gründe für durchgeführte Entwurfsentscheidungen erschließen, Unterschiede gegenüberstellen und gegeneinander bewerten. Lern- bzw. Methodenkompetenz Lernende erwerben die Fähigkeit selbstständig Testprogramme zum Bewerten der Leistungsfähigkeit eines Prozessors zu erstellen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Patterson/Hennessy: Computer Organization und Design • Hennessy/Patterson: Computer Architecture - A Quantitative Approach • Stallings: Computer Organization and Architecture • Martin: Rechnerarchitekturen

1	Module name 436348	CPU Entwurf mit VHDL (Schwerpunkt VHDL) CPU Design with VHDL (Focus on VHDL)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: CPU Entwurf mit VHDL (CPU) Übung: CPU Entwurf mit VHDL (CPU) - Übung	- -
3	Lecturers	Philipp Holzinger Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey Johannes Kliemt Thomas Schlögl	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Die Vorlesung wird einen Einblick in die wichtigsten Strukturen eines Rechners und insbesondere die der CPU geben. Wie sind die Register, die ALU, die Caches usw. aufgebaut, wie sind sie miteinander verschaltet? Wie werden Pipelines gebildet? Um die Vorlesung verstehen und die Übungsaufgaben lösen zu können, werden VHDL-Kenntnisse benötigt. Diese werden in der Vorlesung vermittelt. Im ersten Teil der Vorlesung geht es darum, aus einfachen Und-, Oder- und Inverter-Gattern größere Strukturen aufzubauen. So werden beispielsweise die Register und die Komponenten der ALU (Addierer, Multiplizierer, Shifter usw.) nach und nach aufgebaut. Aus den Einzelteilen lassen sich dann wiederum die Registerbänke, die ALU, die Speichereinheit usw. zusammensetzen. Mit guten Rechenwerken allein ist eine CPU noch nicht wirklich schnell. Es müssen schnell genug Instruktionen gelesen und dekodiert sowie die Operanden geholt werden können. Nach dem schnellen Verarbeiten in den Rechenwerken müssen die Ergebnisse dann wiederum schnell in die Zielregister bzw. Ziel-Speicherzellen kopiert werden. Das wichtigste Verfahren, um hierbei Performance zu gewinnen, ist das Pipelining. Leider gibt es eine Reihe von Bedingungen, die erfüllt sein müssen, dass Pipelining wirklich gut funktioniert. So dürfen keine Daten-Abhängigkeiten im Code vorhanden sein, müssen Sprungziele rechtzeitig bekannt sein und dürfen bestimmte Ressourcen nicht mehrfach gleichzeitig genutzt werden. Mittels Forwarding, Sprungvorhersage und Caches können die Probleme gemildert werden. Mit den so gewonnenen Fähigkeiten sind dann auch Multi-Core- und Multi-Threading-Architekturen verständlich.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden verstehen den inneren Aufbau moderner CPUs (Pipeline, Registerbänke, ALU, Caches, Memory-Management-Unit, Segmentierungseinheit, ...) und können selbst performante CPUs aus einfachen Basis-Schaltungen aufbauen.
7	Prerequisites	keine
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222

10	Method of examination	Oral
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 557235	Middleware - Cloud Computing (Vorlesung mit Übungen) Lecture and tutorial: Middleware - Cloud computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Tobias Distler
5	Contents	• Überblick Cloud Computing • Grundlagen verteilter Programmierung (Web Services/SOAP/REST) • Virtualisierung als Basis für Cloud Computing • Infrastructure as a Service (IaaS) am Beispiel von Eucalyptus und Amazon EC2 • Skalierbare Verarbeitung von großen Datenmengen • Interoperabilität und Multi-Cloud Computing • Fehlertoleranz im Kontext von Cloud Computing • Aktuelle Forschungstrends
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: - nennen unterschiedliche Ausprägungen von Cloud-Computing. - erläutern verschiedene Cloud-Architekturen. - stellen Vor- und Nachteile von Cloud-Computing gegenüber. - unterscheiden die Herangehensweisen bei der Entwicklung von SOAP- im Vergleich zu REST-Anwendungen. - organisieren den Austausch von Informationen in einer verteilten Anwendung unter Verwendung eines Verzeichnisdienstes. - entwickeln eigene auf Web-Services basierende Anwendungen. - erläutern die Anforderungen an ein virtualisiertes System. - beschreiben die für die Virtualisierung eines Systems erforderlichen Kriterien. - vergleichen zwischen unterschiedlichen Virtualisierungstechniken und -ebenen. - schildern den Aufbau und die Funktionsweise von Xen und Linux-VServer. - erproben das Einrichten eines Abbilds für eine virtuelle Maschine. - skizzieren die Architektur einer Infrastruktur-Cloud sowie die Aufgabenbereiche hierfür zentraler Komponenten am Beispiel von Eucalyptus. - erproben das Bereitstellen von Anwendungen in einer Infrastruktur-Cloud. - zeigen die Grundlagen Software-definierter Netzwerke am Beispiel von Onix und B4 auf. - bewerten verschiedene im Bereich Cloud-Computing zum Einsatz kommende Datenspeichersysteme (Google File System, Bigtable, Windows Azure Storage, Amazon Dynamo) hinsichtlich der Kriterien Verfügbarkeit, Konsistenz und Partitionstoleranz.

		- erläutern eine auf Vektoruhren basierende Methode zur Auflösung im Zusammenhang mit letztendlicher Konsistenz auftretender Konflikte. - entwickeln ein verteiltes Dateisystem nach dem Vorbild von HDFS, das auf die Speicherung großer Datenmengen ausgelegt ist. - erkunden das Bereitstellen selbst entwickelter Dienste mittels Docker. - erstellen ein Framework zur parallelen Bearbeitung von Daten nach dem Vorbild von MapReduce. - konzipieren eigene MapReduce-Anwendungen zur Verarbeitung strukturierter Rohdaten. - diskutieren die Fehlertoleranzmechanismen in Google MapReduce. - schildern die grundsätzliche Funktionsweise von Systemen zur Kühlung von Datenzentren mittels Umgebungsluft. - beschreiben das Grundkonzept einer temperaturabhängigen Lastverteilung von Prozessen in einem Datenzentrum. - stellen diverse Ansätze zur Erhöhung der Energieeffizienz von MapReduce-Clustern gegenüber. - unterscheiden die Architekturen und Funktionsweisen der Koordinierungsdienste Chubby und ZooKeeper. - entwickeln einen eigenen Koordinierungsdienst nach dem Vorbild von ZooKeeper. - ermitteln die Konsistenzeigenschaften der eigenen Koordinierungsdienstimplementierung. - erläutern unterschiedliche Ansätze zur Reduzierung bzw. Tolerierung von Tail-Latenz. - skizzieren das Grundkonzept von Erasure-Codes. - beschreiben den Aufbau eines auf die Clouds mehrerer Anbieter gestützten Datenspeichersystems. - erläutern den Einsatz passiver Replikation zur Bereitstellung von Fehlertoleranzmechanismen für virtuelle Maschinen am Beispiel von Remus. - schildern die Grundlagen der Migration von virtuellen Maschinen. - bewerten die Qualität einer aktuellen Publikation aus der Fachliteratur. - erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Konsistenz, Skalierbarkeit) und Fehlerquellen bei der Programmierung verteilter Anwendungen. - können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. - können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. - können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen. - reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab.
7	Prerequisites	Gute Programmierkenntnisse in Java
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio

		Das Modul wird bestanden bei erfolgreicher Bearbeitung aller 6 Aufgaben (Bewertung jeweils mit "ausreichend") und dem Bestehen einer 30-minütigen mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Bewertung der mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 707303	Echtzeitsysteme (Vorlesung mit Übungen) Real-time systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Videobearbeitung in Echtzeit, Echtzeitstrategiespiel, echtzeitfähig - der Begriff Echtzeit ist wohl einer der am meisten strapazierten Begriffe der Informatik und wird in den verschiedensten Zusammenhängen benutzt. Diese Vorlesung beschäftigt sich mit dem Begriff Echtzeit aus der Sicht von Betriebssystemen - was versteht man eigentlich unter dem Begriff Echtzeit im Betriebssystemumfeld, wo und warum setzt man sog. Echtzeitbetriebssysteme ein und was zeichnet solche Echtzeitbetriebssysteme aus? In dieser Vorlesung geht es darum, die oben genannten Fragen zu beantworten, indem die grundlegenden Techniken und Mechanismen vermittelt werden, die man im Betriebssystemumfeld verwendet, um Echtzeitsysteme und Echtzeitbetriebssysteme zu realisieren. Im Rahmen dieser Vorlesung werden unter anderem folgende Themen behandelt: • zeitgesteuerte und ereignisgesteuerte Systeme • statische und dynamische Ablaufplanungsverfahren • Fadensynchronisation in Echtzeitbetriebssystemen • Behandlung von periodischen und nicht-periodischen Ereignissen In den begleitenden Übungen werden die in der Vorlesung vorgestellten Techniken bei der Entwicklung eines kleinen Echtzeitsystems praktisch umgesetzt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • unterscheiden die verschiedenen Komponenten eines Echtzeitsystems. • bewerten die Verbindlichkeiten von Terminvorgaben (weich, fest, hart). • erläutern die Zusammensetzung des Laufzeitverhaltes einer Echtzeitanwendung. • klassifizieren die Berührungspunkte zwischen physikalischem Objekt und kontrollierendem Echtzeitsystem. • interpretieren die Zeitparameter des durch das Echtzeitrechnungssystem zu kontrollierenden Objekts. • nennen die Zeitparameter des zugrundeliegenden Rechnungssystems (Unterbrechungslatenz, Ausführungszeit, ...). • unterscheiden synchrone und asynchrone Programmunterbrechung (insbesondere Trap/Interrupt, Ausnahmebehandlung und Zustandssicherung). • skizzieren die Verwaltungsgemeinkosten des schlimmsten Falls.

- entwickeln in der Programmiersprache C und wenden die GNU Werkzeugkette für den ARM Cortex M4 Microcontroller an.
- erstellen Echtzeitanwendungen auf Basis der eCos OS-Schnittstelle
- ordnen die Strukturelemente von Echtzeitanwendungen zu: Aufgabe, Arbeitsauftrag und Faden.
- erläutern die Implikationen von zeitlichem Mehrfachbetrieb auf die Verwaltungsgemeinkosten.
- unterscheiden die Umsetzungsalternativen zur Ablaufsteuerung und die Trennung der Belange in Einplanung (Strategie) und Einlastung (Mechanismus).
- benennen die grundsätzliche Verfahren der Ablaufsteuerung (taktgesteuert, reihum, vorranggesteuert).
- erklären die grundlegenden Zeitparameter einer Aufgabe (Auslösezeitpunkt, Termin, Antwortzeit, Latenz, Ausführungszeit, Schlupfzeit).
- unterscheiden die Grundlagen der Planbarkeit (gültig vs. zulässig, Optimalität von Einplanungsalgorithmen).
- beschreiben den Unterschied zwischen konstruktiver und analytischer Einhaltung von Terminen-.
- vergleiche die Möglichkeiten (statisch, dynamisch) der zeitliche Analyse von Echtzeitanwendungen.
- erklären die Grundlagen und Beschränkungen von dynamischer (worst-case?) und statischer WCET-Analyse (makroskopisch und mikroskopisch).
- illustrieren Lösungsverfahren zur Bestimmung des längsten Ausführungspfads (Timing Schema, IPET).
- erstellen Zeitmessung mittels Zeitgeber / Oszilloskop und bestimmen den längsten Pfad durch Code-Review.
- erproben werkzeuggestützte WCET-Analyse mittels des absint aiT Analysewerkzeugs.
- beschreiben die Grundlagen der Abfertigung periodischer Echtzeitsysteme (Periode, Phase, Hyperperiode).
- skizzieren das periodische Modell und dessen Folgen (Entwicklungskomfort vs. Analysierbarkeit).
- erklären die ereignisgesteuerte Ausführung (feste und dynamische Priorität, Verdrängbarkeit) mittels ereignisorientierter Planer (Berechnungskomplexität, MLQ-Scheduler, O(1)-Scheduler).
- unterscheiden die zeitgesteuerte Ausführung (Busy Loop, Ablaufplan) und die Abfertigung von Arbeitsaufträgen im Abfrage- bzw. Unterbrecherbetrieb.
- wenden die Grundlagen der ereignisgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme an.
- unterscheiden Verfahren zur statischen (RM, DM) und dynamischen Prioritätsvergabe (EDF, LRT, LST).
- nennen den Unterschied zwischen Anwendungs- und Systemebene (Mehrdeutigkeit von Prioritäten).

- erläutern den Optimalitätsnachweis des RM-, DM- und EDF-Algorithmus und dessen Ausnahmen.
- beschreiben grundlegende Verfahren zur Planbarkeitsanalyse (CPU-Auslastung, Antwortzeitanalyse).
- implementieren komplexe Aufgabensysteme in eCos.
- unterscheiden die Grundlagen der zeitgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme.
- erstellen regelmäßige, zyklische Ablaufpläne (cyclic executive model, Rahmen).
- vergleichen Methoden der manuellen und algorithmischen Ablaufplanung.
- unterscheiden optimale von heuristischen Verfahren (List Scheduling, Branch & Bound).
- diskutieren die Konsequenzen eines Betriebswechsels in Echtzeitsystemen.
- erstellen takt- beziehungsweise ereignisgesteuerte Abläufe in eCos beziehungsweise tt-eCos.
- klassifizieren die Grundlagen der Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme (minimale Zwischenankunftszeit).
- definieren die Verbindlichkeiten von nicht-periodischen Aufgaben (aperiodisch, sporadisch)
- zeigen die sich ergebenden Restriktionen des periodischen Modells (Mischbetrieb, Prioritätswarteschlangen, Übernahmeprüfung) auf.
- beschreiben die Basistechniken des Laufzeitsystems (Zusteller, Unterbrecherbetrieb, Hintergrundbetrieb).
- quantifizieren die Eigenschaften und Auswirkungen auf den periodischen Teil des Echtzeitsystems.
- formulieren die Grundlagen des Slack-Stealing.
- beschreiben den Einsatz von bandweite-bewahrenden Zustellern.
- unterscheiden aufschiebbare Zusteller und Sporadic Server (SpSL und POSIX).
- wenden eine Übernahmeprüfung bei sporadischen Aufgaben mittels dichte- oder schlupfbasierten Akzeptanztests an.
- arbeiten einen strukturierter Ablaufplan (Rahmen) aus und untersuchen den Einsatz von Slack-Stealing.
- ermitteln gerichtete Abhängigkeiten und Rangfolgen in Echtzeitanwendungen (Abhängigkeits- und Aufgabengraph).
- stellen Umsetzungsalternativen für Abhängigkeiten einander gegenüber (naiv, implizit, explizit).
- beschreiben das Konzept der zeitlichen Domänen und physikalischer bzw. logischer Ereignisse.
- übertragen Abhängigkeiten auf das Problem der Ablaufplanung (modifiziere Auslöszeitpunkt/Termin, Phasenversatz).
- konzipieren Rangfolge und aperiodische Steuerung in eCos.

		• implementieren einen aperiodischer Moduswechsel mit Zustandsüberführung in eCos. • wenden die Grundlagen von Wettstreit um Betriebsmitteln, Konkurrenz und Konfliktsituationen (kritische Abschnitte, (un)kontrollierte Prioritätsumkehr) an. • beschreiben echtzeitfähige Synchronisationsprotokolle (NPCS, PI, PCP). • nennen die Vor- und Nachteile der Techniken (transitive Blockung, Verklemmungen). • hinterfragen die Vereinfachung des PCP durch stapelbezogene Grenzprioritäten. • bestimmen die Ablaufplanung unter Berücksichtigung von Blockierungszeiten und Selbstsuspendierung. • implementieren Zugriffskontrolle (NPCS, PI, PCP) in Echtzeitanwendungen mit eCos. • erläutern die Anforderungen an verteilte Echtzeitsysteme (Komposition, Erweiterbarkeit, Komplexität, Ereignis- vs. Zustandsnachricht). • fassen die Grundlagen von Knoten, Netzwerkschnittstellen und Netzübergängen sowie die Konzepte der expliziten und impliziten Flusskontrolle zusammen. • erschließen sich typische Probleme (zeitliche Analyse, Beobachtbarkeit, Synchronisation, Rangfolge) und Fehlerquellen bei der Programmierung von Echtzeitanwendungen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein, eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio 30-minütige mündliche Prüfung über den gesamten Stoff der Veranstaltung.

		Teilnahme an den Übungen und die Bearbeitung aller Übungsaufgaben wird hierzu dringend empfohlen!
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote wird durch eine 30-minütige mündliche Prüfung am Ende des Semesters festgelegt.
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 60 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Hermann Kopetz. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Kluwer Academic Publishers, 1997. • Jane W. S. Liu. Real-Time Systems. Prentice-Hall, Inc., 2000. • Wolfgang Schröder-Preikschat. Softwaresysteme 1. Vorlesungsfolien. 2006.

1	Module name 740665	Parallele Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen) Parallel systems with extended exercises	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Parallele Systeme (2 SWS) Übung: Übung zu Parallele Systeme (2 SWS) Übung: Erweiterte Übungen zu Parallele Systeme (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich Frank Hannig Dominik Walter Batuhan Sesli	

4	Module coordinator	Joachim Falk Frank Hannig Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	
5	Contents	Aktuelle PCs verfügen über Mehrkernprozessoren und Grafikkarten, die wiederum aus hunderten von einfachen Prozessoren bestehen können. Hierdurch wird ein hohes Maß an nebenläufiger Datenverarbeitung möglich, welche bis vor einigen Jahren nur in Großrechnern erreicht werden konnte. Die effiziente Ausnutzung dieser Parallelität bedarf allerdings mehr als nur mehrerer Prozessoren, insbesondere muss das zu lösende Problem Parallelverarbeitung erlauben. In dieser Vorlesung werden Eigenschaften unterschiedlicher paralleler Rechnerarchitekturen und Metriken zu deren Beurteilung behandelt. Weiterhin werden Modelle und Sprachen zum Programmieren paralleler Rechner eingeführt. Neben der Programmierung von allgemeinen Parallelrechnern werden Entwurfsmethoden (CAD) vorgestellt, wie man ausgehend von einer algorithmischen Problemstellung ein massiv paralleles Rechenfeld in VLSI herleiten kann, das genau dieses Problem optimal parallel berechnet. Solche Schaltungen spielen auf der Bit- bzw. Wortebene eine dominante Rolle (Arithmetik) sowie bei Problemen der Signal- und Bildverarbeitung (z.B. Filter). Im Einzelnen werden behandelt: 1) Theorie der Parallelität (parallele Computermodele, parallele Spezifikationsformen und -sprachen, Performanzmodelle und -berechnung) 2) Klassifikation paralleler und skalierbarer Rechnerarchitekturen (Multiprozessoren und Multicomputer, Vektorrechner, Datenflussmaschinen, VLSI-Rechenfelder) 3) Programmierbare System-on-Chip (SoC) und Mehrkern-Architekturen (Grafik-Prozessoren, Cell, etc.) 4) Programmierung paralleler Rechner (Sprachen und Modelle, Entwurfsmethoden und Compiler, Optimierung) 5) Massive Parallelität: Vom Algorithmus zur Schaltung 6) Praktische Übungen mit rechnergestützten Werkzeugen <i>Today's PCs consist of multi-core processors and graphics cards that again comprise hundreds to thousands of simple processors. As a</i>	

		result of this, a very high degree of parallel data processing becomes possible, which was subjected to supercomputers a couple of years ago. The efficient exploitation of parallel processing requires not only multiple processors but also parallelism inherent in the problem to be solved. In this lecture, properties of different parallel computer architectures and corresponding quality metrics are examined. Further, models and parallel programming languages are introduced. In addition to programming general parallel computers, design methods (CAD) are presented that systematically transform an algorithmic problem description into a massive parallel processor array (VLSI), which can optimally execute the given problem in parallel. Such highly parallel circuits play an essential role at the bit level and circuit level (arithmetics) as well as in the case of signal processing and image processing (e.g., filter). <i>In detail, the following topics are covered:</i> 1) Theory of parallelism (parallel models of computation, parallel specification and parallel languages, performance models) 2) Classification of parallel and scalable computer architectures (multi-processors and multi-computers, vector computers, data-flow machines, VLSI processor arrays) 3) Programmable System-on-Chip (SoC) and multi-core architectures (graphics processors, Cell, etc.) 4) Programming of parallel computers (languages and models, design methods and compiler, optimization) 5) Massive parallelism: From algorithm to circuit 6) Practical training with computer-aided design tools
6	Learning objectives and skills	Schwerpunkt der Vorlesung ist die Vermittlung von Grundlagen der parallelen Datenverarbeitung. <i>The focus of this lecture are foundations of parallel data processing.</i> Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden verstehen grundlegende Konzepte der parallelen Datenverarbeitung, sowohl theoretischer Art anhand von Modellen, als auch an Architekturbeispielen. The students become familiar with the fundamentals of parallel data processing, theoretic in the form of models as well as by architecture examples. Fachkompetenz - Anwenden • Die Studierenden setzen sich mit modernen eingebetteten parallelen Ein-Chip-Architekturen auseinander. The students get familiar with modern embedded parallel system-on-chip architectures. • Die Studierenden wenden grundlegende Performanzmodelle und Parallelisierungstechniken zur Analyse und Optimierung von parallelen Algorithmen und Architekturen an. The students exercise basic performance models and parallelization techniques for the analysis and optimization of parallel algorithms and architectures.

		- Die Studierenden setzen die Modellierung und den Entwurf von massiv-parallelen Prozessorfeldern in konkreten Aufgaben selbstständig um. In concrete tasks, the students apply independently the modeling and the design of massively parallel processors arrays. - Die Studierenden wenden das erlernte Wissen in den erweiterten Übungen vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls an. The students apply their learned knowledge in hands-on computer exercises on-site at the chair's computer workstations.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Parallele Systeme“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) - Prüfung und erfolgreiche Bearbeitung aller Übungsaufgaben in den erweiterten Übungen (verpflichtend, vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls). - Ein Wechsel der Prüfungsform von einer Klausur zu einer mündlichen Prüfung ist in Ausnahmefällen (siehe § 16 ABMPO/TechFak) auch nach Semesterbeginn noch möglich. In diesem Fall werden die Studierenden spätestens zwei Wochen nach Vorlesungsbeginn informiert. - Prüfungssprache: Deutsch oder Englisch. Die Unterrichts- und Prüfungssprache hängt von den Sprachkenntnissen und Präferenzen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer ab und wird dementsprechend innerhalb der ersten zwei Wochen nach Vorlesungsbeginn festgelegt.
11	Grading procedure	Written examination (100%) Die Modulnote ergibt sich aus der Prüfungsleistung.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/parallele-systeme

1	Module name 798810	Rechnerarchitektur Computer architecture	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Die Vorlesung baut auf die in den Grundlagen der Rechnerarchitektur und -organisation vermittelten Inhalte auf und setzt diese mit weiterführenden Themen fort. Es werden zunächst grundlegende fortgeschrittene Techniken bei Pipelineverarbeitung und Cachezugriffen in modernen Prozessoren und Parallelrechnern behandelt. Ferner wird die Architektur von Spezialprozessoren, z.B. DSPs und Embedded Prozessoren behandelt. Es wird aufgezeigt, wie diese Techniken in konkreten Architekturen (Intel Nehalem, GPGPU, Cell BE, TMS320 DSP, Embedded Prozessor ZPU) verwendet werden. Zur Vorlesung wird eine Tafelübung angeboten. Mit erfolgreicher mündlicher Prüfung können 5 ECTS erworben werden. In den Tafelübungen werden die in der Vorlesung vermittelten Techniken durch zu lösende Aufgaben vertieft. In der Rechnerübung soll u.a. ein einfacher Vielkern-Prozessor auf Basis des ZPU-Prozessors mit Simulationswerkzeugen aufgebaut werden. Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt: • Organisationsaspekte von CISC und RISC-Prozessoren • Behandlung von Hazards in Pipelines • Fortgeschrittene Techniken der dynamischen Sprungvorhersage • Fortgeschritten Cachetechniken, Cache-Kohärenz • Ausnutzen von Cacheeffekten • Architekturen von Digitalen Signalprozessoren • Architekturen homogener und heterogener Multikern-Prozessoren (Intel Corei7, Nvidia GPUs, RISC-V) • Architektur von Parallelrechnern (Clusterrechner, Superrechner) • Effiziente Hardware-nahe Programmierung von Multikern-Prozessoren (OpenMP, SSE, CUDA) • Leistungsmodellierung und -analyse von Multikern-Prozessoren (Roofline-Modell)
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Wissen Lernende können Wissen abrufen und wiedergeben. Sie kennen konkrete Einzelheiten wie Begriffe, Definitionen, Fakten, und Abläufe in einem Prozessor darlegen. Verstehen Lernende können Beispiele für Rechnerarchitekturen anführen, sie sind in der Lage, Schaubilder von Prozessoren zu interpretieren und die Abläufe in eigenen Worten zu beschreiben. Anwenden

		Lernende können beim Erstellen eigener Programme durch Transfer des Wissens über Interna von Prozessorarchitekturen Optimierungen hinsichtlich des Laufzeitverhaltens vornehmen. Analysieren Lernende können zwischen verschiedenen Varianten von Lösungen einer Prozessorarchitektur klassifizieren, die Gründe für durchgeführte Entwurfsentscheidungen erschließen, Unterschiede gegenüberstellen und gegeneinander bewerten. Lern- bzw. Methodenkompetenz Lernende erwerben die Fähigkeit selbstständig Testprogramme zum Bewerten der Leistungsfähigkeit eines Prozessors zu erstellen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	• Patterson/Hennessy: Computer Organization und Design • Hennessy/Patterson: Computer Architecture - A Quantitative Approach • Stallings: Computer Organization and Architecture • Martin: Rechnerarchitekturen

1	Module name 820947	Betriebssysteme (Vorlesung mit erweiterten Übungen) Operating systems (lectures with extend exercises)	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Volkmar Sieh
5	Contents	Inhalt des Moduls ist Vermittlung grundlegender Konzepte, Methoden und Techniken von Betriebssystemen aus dem Blickwinkel einer Betriebssystementwicklerin. Im Rahmen der Übungen entwickeln die Studierenden in einem "bottom-up" Entwurf- und Entwicklungsprozess ihr eigenes Mehrkernbetriebssystem für die IA-32 Plattform, ausgehend von der "nackten Hardware" über grundlegende Ein-Ausgabemöglichkeiten, Unterbrechungsbearbeitung bis hin zu quasi- und echtparalleler Programmausführung.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: - erläutern den Startvorgang eines Rechensystems am Beispiel eines x86/x86_64-PCs. - beschreiben die spezifischen Herausforderungen bei der Softwareentwicklung für "bare metal". - beschreiben den Ablauf einer Unterbrechungsbehandlung von der Hardware bis zur (System-)software. - skizzieren Besonderheiten und Strategien der Unterbrechungsbehandlung in Hardware für Mehrkernsystemen am Beispiel des IA32-APICs. - diskutieren die Aufgabenteilung zwischen Hardware und Systemsoftware bei der Unterbrechungsbearbeitung. - unterscheiden die verschiedenen Typen von Kontrollflüssen in einem Betriebssystem anhand des Ebenenmodells. - unterscheiden harte, mehrstufige, und weiche Verfahren zur Unterbrechungssynchronisation in Betriebssystemen und können diese für ein Mehrkernsystem implementieren. - klassifizieren konkrete Konkurrenzsituationen anhand des Ebenenmodells und leiten daraus geeignete Synchronisationsmaßnahmen ab. - schildern die IA32-Architektur und gängige PC-Technologie und deren Schnittstellen zur Systemsoftware. - erläutern grundlegende Bausteine für die Implementierung von Quasi-Parallelität (Fortsetzungen, Koroutinen, Fäden) und grenzen diese gegeneinander ab. - erläutern die Interaktionen zwischen Hardware, Übersetzer und Systemsoftware, die dabei zu beachten sind. - entwickeln den Koroutinenwechsel für einen gegebene Architektur. - erläutern die Implikationen von Quasi-Parallelität auf das Ebenenmodell und die daraus abgeleiteten Synchronisationsmaßnahmen.

		- beschreiben die Implementierung von (verdrängendem) Scheduling in einem Betriebssystem. - analysieren das Zusammenspiel von Scheduling und Unterbrechungssynchronisation. - nennen Kriterien und Dimensionen des Scheduling von Betriebsmitteln, insbesondere der CPU. - erläutern die konkrete Umsetzung am Beispiel der Scheduler in Linux und Windows. - unterscheiden grundlegende Möglichkeiten der Koordinierung und Synchronisation von Fäden (aktives/passives Warten, nichtverdrängbare kritische Abschnitte). - entwickeln Mechanismen für die Synchronisation auf Fadenebene für Mehrkernsystemen. - erklären die dabei zu beachtenden Synchronisationsprobleme (lost update, lost wakeup) und geeignete Gegenmaßnahmen. - interpretieren die Bedeutung von Gerätetreibern in der Betriebssystempraxis. - erläutern die Anforderungen an ein Treibermodell. - vergleichen die Umsetzung von Treibermodellen in Windows und Linux. - vergleichen grundlegende BS-Architekturen (Bibliothek, Monolith, Mikrokern, Exokern, Hypervisor) anhand fundamentaler Charakteristika (Robustheit, Performanz, Portierbarkeit) und Mechanismen. - schildern die grundlegenden Paradigmen zur Interprozesskommunikation in Betriebssystemen (speicherbasiert vs. nachrichtenbasiert). - erläutern die grundlegenden Primitiven dieser Verfahren. - skizzieren, wie unter Anwendung dieser Primitiven höhere Synchronisationskonstrukte implementiert werden (Monitore, Leser-/Schreiber-Sperre). - illustrieren die Dualität der Paradigmen. - erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Compilerverhalten, Debuggen ohne dedizierte Hilfsmittel) und Fehlerquellen bei der hardwarenahen Softwareentwicklung für Mehrkernsysteme. - können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. - können die ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. - reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. - können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen.
7	Prerequisites	• C/C++ (Übungsaufgaben werden in C++ implementiert) • Assembler (Grundkenntnisse)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222

10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Avi Silberschatz, Peter B. Galvin, Greg Gagne. Operating System Concepts. John Wiley & Sons. • Andrew S. Tanenbaum. Modern Operating Systems. Pearson. • William Stallings. Operating Systems: Internals and Design Principles. Prentice Hall. • Andrew S. Tanenbaum. Structured Computer Organization. Pearson.

1	Module name 939179	Echtzeitsysteme 2 - Verlässliche Echtzeitsysteme Real-time systems 2 - dependable real-time systems	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Viele Echtzeitsysteme sind in Bereiche des täglichen Lebens eingebettete, die hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit dieser Systeme stellen. Beispiele hierfür sind Fahrerassistenzsysteme in modernen Automobilen, medizinische Geräte, Prozessanlagen in Kernkraftwerken oder Chemiefabriken oder Flugzeuge. Fehlfunktionen in diesen Anwendungen ziehen mitunter katastrophale Konsequenzen nach sich - Menschen können ernsthaft verletzt oder sogar getötet werden, Landstriche können unbewohnbar gemacht oder zumindest großer finanzieller Schaden verursacht werden. Dieses Modul betrachtet Methoden und Werkzeuge, die uns helfen können, einerseits *zuverlässig Software zu entwickeln* (also Fehler im Programm zu entdecken und zu vermeiden), und andererseits *zuverlässige Software zu entwickeln* (also Abstraktionen, die auch im Fehlerfall ihre Gültigkeit behalten). Hierbei steht weniger die Vermittlung theoretischer Grundkenntnisse auf diesen Gebieten im Vordergrund, also vielmehr • die praktische Anwendung existierende Werkzeuge und Methoden • sowie die Erfahrung und das Verständnis ihrer Grenzen. Auf diese Weise soll ein Fundament für die konstruktive Umsetzung verlässlicher Echtzeitsysteme gelegt werden. Dieses Modul soll daher fundierte Anknüpfungspunkte für die Entwicklung verlässlicher Echtzeitsysteme vermitteln, die Ad-hoc-Techniken möglichst ersetzen sollen.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • nennen die Konzepte und die Taxonomie verlässlicher Systeme, unterscheiden Software- und Hardwarefehler und klassifizieren Fehler (Defekt, Fehler, Fehlverhalten). • stellen Fehlerbäume auf. • organisieren Softwareentwicklungsprojekte mittels der Versionsverwaltung git. • vergleichen die verschiedenen Arten der Redundanz als Grundvoraussetzung für Fehlererkennung und -toleranz. • entwickeln fehlertolerante Systeme mittels Replikation. • diskutieren die Fehlerhypothese und die Sicherstellung von Replikdeterminismus. • erläutern die Vor- und Nachteile softwarebasierter Replikation und den Einsatz von Diversität. • wenden Informationsredundanz zur Härtung von Daten- und Kontrollflüssen an.

- bewerten die Effektivität der arithmetischer Codierung von Programmen und verallgemeinern diesen Ansatz auf die verschiedenen Implementierungsebenen (Maschinenprogramm zu Prozessinkarnation).
- interpretieren den Einfluss der Ausführungsplattform (Hardware, Betriebssystem) auf die Leistungsfähigkeit der Fehlererkennung.
- konzipieren eine fehlertolerante Ausführungsumgebung für ein softwarebasiertes TMR-System basierend auf ANBD-Codierung.
- nennen die Grundlagen der systematischen Fehlerinjektion.
- überprüfen die Wirksamkeit von Fehlertoleranzmechanismen mittels Fehlerinjektion auf der Befehlssatzebene.
- entwickeln Testfälle für die Fehlerinjektion mittels des fail** Werkzeugs.
- setzen Messergebnisse in Relation zu dem tatsächlichen Fehlerraum.
- beschreiben die Grundlagen der Fehlererholung (Vorwärts- bzw. Rückwärtskorrektur) und Reintegration fehlgeschlagener Knoten.
- vergleichen den Zustandstransfer am Beispiel der Running bzw. Recursive State Restoration.
- benennen Konzepte der Rückwärtskorrektur durch Entwurfalternativen (Recovery Blocks).
- fassen die Grundlagen des dynamischen Testens zusammen.
- unterscheiden Black-Box und White-Box Testverfahren.
- konzipieren und implementieren Testfälle.
- überprüfen die Testüberdeckung anhand grundlegender Überdeckungskriterien (Anweisungs- bis Bedingungsüberdeckung).
- geben die Grundlagen der statischen Programmanalyse wieder.
- nennen die Funktionsweise von Hoare- WP-Kalkül.
- verifizieren eine Ampelsteuerung mittels des FramaC Werkzeugs zur statischen Analyse von C Programmen.
- beschreiben den Korrektheitsnachweis mittels abstrakter Interpretation und unterscheiden die konkrete von der abstrakten Programmsemantik.
- erläutern die Funktionsweise von Sammel- und Präfixsemantiken.
- erstellen einen Korrektheitsbeweis für einen a-b-Filter mittels des Astrée Werkzeugs zur abstrakten Interpretation von C Programmen.
- bewerten die Verlässlichkeit kommerzieller, sicherheitskritischer Systeme anhand von Fallstudien (Sizewell B, Airbus A320).
- erschließen sich typische Probleme und Fehlerquellen bei der Programmierung von eingebetteten Systemen im Allgemeinen.

		• klassifizieren Fallstricke und Mehrdeutigkeiten in der Programmiersprache C99 im Besonderen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein. Weiterhin sind grundlegende Kenntnisse über Echtzeitsysteme, zum Beispiel durch den Besuch der Veranstaltung "Echtzeitsysteme", empfohlen. Eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang jedoch nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 743260	Verteilte Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen) Distributed systems (lecture with extended exercises)	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Rechnerübungen zu Verteilte Systeme (2 SWS) Übung: Erweiterte Übungen zu Verteilte Systeme (2 SWS) Vorlesung: Verteilte Systeme (2 SWS)	- 5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Tobias Distler Harald Böhm Dr. rer. nat. Christian Berger	

4	Module coordinator	Tobias Distler
5	Contents	Verteilte Systeme bestehen aus mehreren Rechnern, die über ein Netzwerk miteinander verbunden sind und einen gemeinsamen Dienst erbringen. Obwohl die beteiligten Rechner hierfür in weiten Teilen unabhängig voneinander agieren, erscheinen sie ihren Nutzern gegenüber in der Gesamtheit dabei trotzdem als ein einheitliches System. Die Einsatzmöglichkeiten für verteilte Systeme erstrecken sich über ein weites Spektrum an Szenarien: Von der Zusammenschaltung kleinster Rechenknoten zur Sammlung von Daten im Rahmen von Sensornetzwerken über Steuerungssysteme für Kraftfahrzeuge und Industrieanlagen bis hin zu weltumspannenden, Internet-gestützten Infrastrukturen mit Komponenten in Datenzentren auf verschiedenen Kontinenten. Ziel dieses Moduls ist es, die sich durch die speziellen Eigenschaften verteilter Systeme ergebenden Problemstellungen zu verdeutlichen und Ansätze zu vermitteln, mit deren Hilfe sie gelöst werden können; Beispiele hierfür sind etwa die Interaktion zwischen heterogenen Systemkomponenten, der Umgang mit erhöhten Netzwerklatenzen sowie die Wahrung konsistenter Zustände über Rechengrenzen hinweg. Gleichzeitig zeigt das Modul auf, dass die Verteiltheit eines Systems nicht nur Herausforderungen mit sich bringt, sondern auf der anderen Seite auch Chancen eröffnet. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die im Vergleich zu nicht verteilten Systemen erzielbare höhere Widerstandsfähigkeit eines Gesamtsystems gegenüber Fehlern wie den Ausfällen ganzer Rechner oder sogar kompletter Datenzentren. Ausgehend von den einfachsten, aus nur einem Client und einem Server bestehenden verteilten Systemen, beschäftigt sich die Vorlesung danach mit der deutlich komplexeren Replikation der Server-Seite und behandelt anschließend die Verteilung eines Systems über mehrere, mitunter weit voneinander entfernte geografische Standorte. In allen Abschnitten umfasst die Betrachtung des jeweiligen Themas eine Auswahl aus Grundlagen, im Praxiseinsatz befindlicher Ansätze und Techniken sowie für den aktuellen Stand der Forschung repräsentativer Konzepte. Im Rahmen der Übungen wird zunächst ein plattformunabhängiges Fernaufrufsystem schrittweise entwickelt und parallel dazu getestet. Als Vorlage und Orientierungshilfe dient dabei das in der Praxis

		weit verbreitete Java RMI. In den weiteren Übungsaufgaben stehen anschließend klassische Problemstellungen von verteilten Systemen wie fehlertolerante Replikation und verteilte Synchronisation im Mittelpunkt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • beschreiben charakteristische Merkmale und Eigenschaften verteilter Systeme sowie grundlegende Probleme im Zusammenhang mit ihrer Realisierung. • untersuchen die Unterschiede zwischen lokalen Methodenaufrufen und Fernmethodenaufrufen. • vergleichen Ansätze zur Konvertierung von Nachrichten zwischen verschiedenen Datenrepräsentationen. • konzipieren eine eigene auf Java RMI basierende Anwendung. • entwickeln ein eigenes Fernaufrufsystem nach dem Vorbild von Java RMI. • bewerten die Serialisierungsroutinen von Java RMI. • erproben die manuelle Serialisierung von Nachrichten. • bewerten die Performanz des eigenen Fernaufrufsystems. • gestalten ein Modul zur Unterstützung verschiedener Fernaufrufsemantiken (Maybe, Last-of-Many, At-Most-Once) für das eigene Fernaufrufsystem. • beurteilen auf Basis eigener Experimente mit Fehlerinjektionen die Auswirkungen von Störeinflüssen auf verschiedene Fernaufrufsemantiken. • klassifizieren Mechanismen zur Bereitstellung von Fehlertoleranz, insbesondere verschiedene Arten der Replikation (aktiv vs. passiv). • vergleichen verschiedene Konsistenzgarantien georeplizierter Systeme. • illustrieren das Problem einer fehlenden gemeinsamen Zeitbasis in verteilten Systemen. • erforschen logische Uhren als Mittel zur Reihenfolgebestimmung und Methoden zur Synchronisation physikalischer Uhren. • unterscheiden grundlegende Zustellungs- und Ordnungsgarantien beim Multicast von Nachrichten. • gestalten ein Protokoll für den zuverlässigen und totalgeordneten Versand von Nachrichten in einer Gruppe von Knoten. • entwickeln einen Dienst zur Verwaltung verteilter Sperrobjekte auf Basis von Lamport-Locks. • bewerten die Qualität einer Publikation aus der Fachliteratur. • erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Konsistenz) und Fehlerquellen bei der Programmierung verteilter Anwendungen. • können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten.

		• reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen.
7	Prerequisites	Gute Programmierkenntnisse in Java
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio Das Modul wird bestanden bei erfolgreicher Bearbeitung aller 6 Aufgaben zu den erweiterten Übungen (Bewertung jeweils mit "ausreichend") und dem Bestehen einer 30-minütigen mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Bewertung der mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 649073	Verteilte Systeme (Vorlesung mit Übungen) Lecture and tutorial: Distributed systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Rechnerübungen zu Verteilte Systeme (2 SWS) Übung: Übungen zu Verteilte Systeme (2 SWS) Vorlesung: Verteilte Systeme (2 SWS)	- 2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Tobias Distler Harald Böhm Dr. rer. nat. Christian Berger	

4	Module coordinator	Tobias Distler
5	Contents	Verteilte Systeme bestehen aus mehreren Rechnern, die über ein Netzwerk miteinander verbunden sind und einen gemeinsamen Dienst erbringen. Obwohl die beteiligten Rechner hierfür in weiten Teilen unabhängig voneinander agieren, erscheinen sie ihren Nutzern gegenüber in der Gesamtheit dabei trotzdem als ein einheitliches System. Die Einsatzmöglichkeiten für verteilte Systeme erstrecken sich über ein weites Spektrum an Szenarien: Von der Zusammenschaltung kleinster Rechenknoten zur Sammlung von Daten im Rahmen von Sensornetzwerken über Steuerungssysteme für Kraftfahrzeuge und Industrieanlagen bis hin zu weltumspannenden, Internet-gestützten Infrastrukturen mit Komponenten in Datenzentren auf verschiedenen Kontinenten. Ziel dieses Moduls ist es, die sich durch die speziellen Eigenschaften verteilter Systeme ergebenden Problemstellungen zu verdeutlichen und Ansätze zu vermitteln, mit deren Hilfe sie gelöst werden können; Beispiele hierfür sind etwa die Interaktion zwischen heterogenen Systemkomponenten, der Umgang mit erhöhten Netzwerklatenzen sowie die Wahrung konsistenter Zustände über Rechengrenzen hinweg. Gleichzeitig zeigt das Modul auf, dass die Verteiltheit eines Systems nicht nur Herausforderungen mit sich bringt, sondern auf der anderen Seite auch Chancen eröffnet. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die im Vergleich zu nicht verteilten Systemen erzielbare höhere Widerstandsfähigkeit eines Gesamtsystems gegenüber Fehlern wie den Ausfällen ganzer Rechner oder sogar kompletter Datenzentren. Ausgehend von den einfachsten, aus nur einem Client und einem Server bestehenden verteilten Systemen, beschäftigt sich die Vorlesung danach mit der deutlich komplexeren Replikation der Server-Seite und behandelt anschließend die Verteilung eines Systems über mehrere, mitunter weit voneinander entfernte geografische Standorte. In allen Abschnitten umfasst die Betrachtung des jeweiligen Themas eine Auswahl aus Grundlagen, im Praxiseinsatz befindlicher Ansätze und Techniken sowie für den aktuellen Stand der Forschung repräsentativer Konzepte. Im Rahmen der Übungen wird zunächst ein plattformunabhängiges Fernaufrufsystem schrittweise entwickelt und parallel dazu getestet.

		Als Vorlage und Orientierungshilfe dient dabei das in der Praxis weit verbreitete Java RMI. In den weiteren Übungsaufgaben stehen anschließend klassische Problemstellungen von verteilten Systemen wie fehlertolerante Replikation und verteilte Synchronisation im Mittelpunkt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • beschreiben charakteristische Merkmale und Eigenschaften verteilter Systeme sowie grundlegende Probleme im Zusammenhang mit ihrer Realisierung. • untersuchen die Unterschiede zwischen lokalen Methodenaufrufen und Fernmethodenaufrufen. • vergleichen Ansätze zur Konvertierung von Nachrichten zwischen verschiedenen Datenrepräsentationen. • konzipieren eine eigene auf Java RMI basierende Anwendung. • entwickeln ein eigenes Fernaufrufsystem nach dem Vorbild von Java RMI. • gestalten ein Modul zur Unterstützung verschiedener Fernaufrufsemantiken (Maybe, Last-of-Many) für das eigene Fernaufrufsystem. • beurteilen auf Basis eigener Experimente mit Fehlerinjektionen die Auswirkungen von Störeinflüssen auf verschiedene Fernaufrufsemantiken. • klassifizieren Mechanismen zur Bereitstellung von Fehlertoleranz, insbesondere verschiedene Arten der Replikation (aktiv vs. passiv). • vergleichen verschiedene Konsistenzgarantien georeplizierter Systeme. • illustrieren das Problem einer fehlenden gemeinsamen Zeitbasis in verteilten Systemen. • erforschen logische Uhren als Mittel zur Reihenfolgebestimmung und Methoden zur Synchronisation physikalischer Uhren. • unterscheiden grundlegende Zustellungs- und Ordnungsgarantien beim Multicast von Nachrichten. • gestalten ein Protokoll für den zuverlässigen und totalgeordneten Versand von Nachrichten in einer Gruppe von Knoten. • entwickeln einen Dienst zur Verwaltung verteilter Sperrobjekte auf Basis von Lamport-Locks. • bewerten die Qualität einer Publikation aus der Fachliteratur. • erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Konsistenz) und Fehlerquellen bei der Programmierung verteilter Anwendungen. • können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen.

		reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab.
7	Prerequisites	Gute Programmierkenntnisse in Java
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio Das Modul wird bestanden bei erfolgreicher Bearbeitung aller 6 Übungsaufgaben (Bewertung jeweils mit "ausreichend") und dem Bestehen einer 30-minütigen mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Bewertung der mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 93015	Einführung in die moderne Kryptographie Introduction to modern cryptography	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Carina Harrius Prof. Dr. Dominique Schröder
5	Contents	This course gives a comprehensive introduction to modern cryptography. The course also serves as a base for other courses on cryptography that are offered by the chair. The topics covered are the following: • Information theoretic security • Computational security • Private key Encryption • Message Authentication Codes • Hash functions • Public key Encryption • Digital Signatures More advanced topics may be covered if time permits.
6	Learning objectives and skills	On successfully passing the course, the student is guaranteed to be knowledgeable on the basic concepts of provable security.
7	Prerequisites	No previous knowledge in Cryptography or computer Security is required.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 165 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Introduction to Modern Cryptography Jonathan Katz and Yehuda Lindell 2nd Edition (2014)

	(Chapman & Hall/CRC Cryptography and Network Security Series)
	ISBN-13: 978-1466570269

1	Module name 876012	Verlässliche Echtzeitsysteme (Vorlesung mit Übungen) Dependable real-time systems (lecture with exercises)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Viele Echtzeitsysteme sind in Bereiche des täglichen Lebens eingebettete, die hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit dieser Systeme stellen. Beispiele hierfür sind Fahrerassistenzsysteme in modernen Automobilen, medizinische Geräte, Prozessanlagen in Kernkraftwerken oder Chemiefabriken oder Flugzeuge. Fehlfunktionen in diesen Anwendungen ziehen mitunter katastrophale Konsequenzen nach sich - Menschen können ernsthaft verletzt oder sogar getötet werden, Landstriche können unbewohnbar gemacht oder zumindest großer finanzieller Schaden verursacht werden. Dieses Modul betrachtet Methoden und Werkzeuge, die uns helfen können, einerseits *zuverlässig Software zu entwickeln* (also Fehler im Programm zu entdecken und zu vermeiden), und andererseits *zuverlässige Software zu entwickeln* (also Abstraktionen, die auch im Fehlerfall ihre Gültigkeit behalten). Hierbei steht weniger die Vermittlung theoretischer Grundkenntnisse auf diesen Gebieten im Vordergrund, also vielmehr • die praktische Anwendung existierende Werkzeuge und Methoden • sowie die Erfahrung und das Verständnis ihrer Grenzen. Auf diese Weise soll ein Fundament für die konstruktive Umsetzung verlässlicher Echtzeitsysteme gelegt werden. Dieses Modul soll daher fundierte Anknüpfungspunkte für die Entwicklung verlässlicher Echtzeitsysteme vermitteln, die Ad-hoc-Techniken möglichst ersetzen sollen.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • nennen die Konzepte und die Taxonomie verlässlicher Systeme, unterscheiden Software- und Hardwarefehler und klassifizieren Fehler (Defekt, Fehler, Fehlverhalten). • stellen Fehlerbäume auf. • organisieren Softwareentwicklungsprojekte mittels der Versionsverwaltung git. • vergleichen die verschiedenen Arten der Redundanz als Grundvoraussetzung für Fehlererkennung und -toleranz. • entwickeln fehlertolerante Systeme mittels Replikation. • diskutieren die Fehlerhypothese und die Sicherstellung von Replikdeterminismus. • erläutern die Vor- und Nachteile softwarebasierter Replikation und den Einsatz von Diversität.

- wenden Informationsredundanz zur Härtung von Daten- und Kontrollflüssen an.
- bewerten die Effektivität der arithmetischer Codierung von Programmen und verallgemeinern diesen Ansatz auf die verschiedenen Implementierungsebenen (Maschinenprogramm zu Prozessinkarnation).
- interpretieren den Einfluss der Ausführungsplattform (Hardware, Betriebssystem) auf die Leistungsfähigkeit der Fehlererkennung.
- konzipieren eine fehlertolerante Ausführungsumgebung für ein softwarebasiertes TMR-System basierend auf ANBD-Codierung.
- nennen die Grundlagen der systematischen Fehlerinjektion.
- überprüfen die Wirksamkeit von Fehlertoleranzmechanismen mittels Fehlerinjektion auf der Befehlssatzebene.
- entwickeln Testfälle für die Fehlerinjektion mittels des fail** Werkzeugs.
- setzen Messergebnisse in Relation zu dem tatsächlichen Fehlerraum.
- beschreiben die Grundlagen der Fehlererholung (Vorwärts- bzw. Rückwärtskorrektur) und Reintegration fehlgeschlagener Knoten.
- vergleichen den Zustandstransfer am Beispiel der Running bzw. Recursive State Restoration.
- benennen Konzepte der Rückwärtskorrektur durch Entwurfsalternativen (Recovery Blocks).
- fassen die Grundlagen des dynamischen Testens zusammen.
- unterscheiden Black-Box und White-Box Testverfahren.
- konzipieren und implementieren Testfälle.
- überprüfen die Testüberdeckung anhand grundlegender Überdeckungskriterien (Anweisungs- bis Bedingungsüberdeckung).
- geben die Grundlagen der statischen Programmanalyse wieder.
- nennen die Funktionsweise von Hoare- WP-Kalkül.
- verifizieren eine Ampelsteuerung mittels des FramaC Werkzeugs zur statischen Analyse von C Programmen.
- beschreiben den Korrektheitsnachweis mittels abstrakter Interpretation und unterscheiden die konkrete von der abstrakten Programmsemantik.
- erläutern die Funktionsweise von Sammel- und Präfixsemantiken.
- erstellen einen Korrektheitsbeweis für einen a-b-Filter mittels des Astrée Werkzeugs zur abstrakten Interpretation von C Programmen.
- bewerten die Verlässlichkeit kommerzieller, sicherheitskritischer Systeme anhand von Fallstudien (Sizewell B, Airbus A320).

		• erschließen sich typische Probleme und Fehlerquellen bei der Programmierung von eingebetteten Systemen im Allgemeinen. • klassifizieren Fallstricke und Mehrdeutigkeiten in der Programmiersprache C99 im Besonderen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein. Weiterhin sind grundlegende Kenntnisse über Echtzeitsysteme eine, zum Beispiel durch den Besuch der Veranstaltung "Echtzeitsysteme", empfohlen. Eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang jedoch nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 43510	Parallele Systeme Parallel systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Parallele Systeme (2 SWS) Übung: Übung zu Parallele Systeme (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich Frank Hannig Dominik Walter Batuhan Sesli	

4	Module coordinator	Joachim Falk Frank Hannig Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Aktuelle PCs verfügen über Mehrkernprozessoren und Grafikkarten, die wiederum aus hunderten von einfachen Prozessoren bestehen können. Hierdurch wird ein hohes Maß an nebenläufiger Datenverarbeitung möglich, welche bis vor einigen Jahren nur in Großrechnern erreicht werden konnte. Die effiziente Ausnutzung dieser Parallelität bedarf allerdings mehr als nur mehrerer Prozessoren, insbesondere muss das zu lösende Problem Parallelverarbeitung erlauben. In dieser Vorlesung werden Eigenschaften unterschiedlicher paralleler Rechnerarchitekturen und Metriken zu deren Beurteilung behandelt. Weiterhin werden Modelle und Sprachen zum Programmieren paralleler Rechner eingeführt. Neben der Programmierung von allgemeinen Parallelrechnern werden Entwurfsmethoden (CAD) vorgestellt, wie man ausgehend von einer algorithmischen Problemstellung ein massiv paralleles Rechenfeld in VLSI herleiten kann, das genau dieses Problem optimal parallel berechnet. Solche Schaltungen spielen auf der Bit- bzw. Wortebene eine dominante Rolle (Arithmetik) sowie bei Problemen der Signal- und Bildverarbeitung (z.B. Filter). Schwerpunkt der Vorlesung ist die Vermittlung von Grundlagen der parallelen Datenverarbeitung. Im Einzelnen werden behandelt: 1) Theorie der Parallelität (parallele Computermodele, parallele Spezifikationsformen und -sprachen, Performanzmodelle und -berechnung) 2) Klassifikation paralleler und skalierbarer Rechnerarchitekturen (Multiprozessoren und Multicomputer, Vektorrechner, Datenflussmaschinen, VLSI-Rechenfelder) 3) Programmierbare System-on-Chip (SoC) und Mehrkern-Architekturen (Grafik-Prozessoren, Cell, etc.) 4) Programmierung paralleler Rechner (Sprachen und Modelle, Entwurfsmethoden und Compiler, Optimierung) 5) Massive Parallelität: Vom Algorithmus zur Schaltung <i>Today's PCs consist of multi-core processors and graphics cards that again comprise hundreds to thousands of simple processors. As a result of this, a very high degree of parallel data processing becomes possible, which was subjected to supercomputers a couple of years ago. The efficient exploitation of parallel processing requires not only multiple processors but also parallelism inherent in the problem to</i>

		be solved. In this lecture, properties of different parallel computer architectures and corresponding quality metrics are examined. Further, models and parallel programming languages are introduced. In addition to programming general parallel computers, design methods (CAD) are presented that systematically transform an algorithmic problem description into a massive parallel processor array (VLSI), which can optimally execute the given problem in parallel. Such highly parallel circuits play an essential role at the bit level and circuit level (arithmetics) as well as in the case of signal processing and image processing (e.g., filter). The focus of this lecture are foundations of parallel data processing. In detail, the following topics are covered: 1) Theory of parallelism (parallel models of computation, parallel specification and parallel languages, performance models) 2) Classification of parallel and scalable computer architectures (multi-processors and multi-computers, vector computers, data-flow machines, VLSI processor arrays) 3) Programmable System-on-Chip (SoC) and multi-core architectures (graphics processors, Cell, etc.) 4) Programming of parallel computers (languages and models, design methods and compiler, optimization) 5) Massive parallelism: From algorithm to circuit
6	Learning objectives and skills	Schwerpunkt der Vorlesung ist die Vermittlung von Grundlagen der parallelen Datenverarbeitung. <i>The focus of this lecture are foundations of parallel data processing.</i> Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden verstehen grundlegende Konzepte der parallelen Datenverarbeitung, sowohl theoretischer Art anhand von Modellen, als auch an Architekturbeispielen. The students become familiar with the fundamentals of parallel data processing, theoretic in the form of models as well as by architecture examples. Fachkompetenz - Anwenden • Die Studierenden setzen sich mit modernen eingebetteten parallelen Ein-Chip-Architekturen auseinander. The students get familiar with modern embedded parallel system-on-chip architectures. • Die Studierenden wenden grundlegende Performanzmodelle und Parallelisierungstechniken zur Analyse und Optimierung von parallelen Algorithmen und Architekturen an. The students exercise basic performance models and parallelization techniques for the analysis and optimization of parallel algorithms and architectures. • Die Studierenden setzen die Modellierung und den Entwurf von massiv-parallelen Prozessorfeldern in konkreten Aufgaben selbstständig um. In concrete tasks, the students apply independently the modeling and the design of massively parallel processors arrays.

7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Parallele Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen)“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) - Ein Wechsel der Prüfungsform von einer Klausur zu einer mündlichen Prüfung ist in Ausnahmefällen (siehe § 16 ABMPO/TechFak) auch nach Semesterbeginn noch möglich. In diesem Fall werden die Studierenden spätestens zwei Wochen nach Vorlesungsbeginn informiert. - Prüfungssprache: Deutsch oder Englisch. Die Unterrichts- und Prüfungssprache hängt von den Sprachkenntnissen und Präferenzen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer ab und wird dementsprechend innerhalb der ersten zwei Wochen nach Vorlesungsbeginn festgelegt.
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/parallele-systeme

1	Module name 713618	Computer vision	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Computer Vision Exercise (2 SWS) Vorlesung: Computer Vision (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Vanessa Klein Muhammad Sohail Prof. Dr. Tim Weyrich Prof. Dr. Bernhard Egger	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Tim Weyrich
5	Contents	This lecture discusses important algorithms from the field of computer vision. The emphasis lies on 3-D vision algorithms, covering the geometric foundations of computer vision, and central algorithms such as stereo vision, structure from motion, optical flow, and 3-D multiview reconstruction. Participants of this advanced course are expected to bring experience from prior lectures either from the field of pattern recognition or from the field of computer graphics.
6	Learning objectives and skills	Die Vorlesung stellt eine Auswahl von Methoden aus dem Gebiet der Computer Vision vor, die in dem Feld eine zentrale Stellung einnehmen. In den Übungen implementieren und evaluieren die Studierenden selbständig diese Methoden. Die Studierenden arbeiten die ganze Zeit über an populären Computer Vision-Methoden wie zum Beispiel Stereosehen, optischer Fluss und 3D-Rekonstruktion aus mehreren Ansichten. Für diese Probleme • beschreiben die Studierenden perspektivische Projektion, Rotationen und verwandte geometrische Grundlagen, • erklären die Studierenden die behandelten Methoden, • diskutieren die Studierenden Vor- und Nachteile verschiedener Modalitäten zur Erfassung von 3D-Informationen, • implementieren die Studierenden einzeln und gemeinschaftlich in Kleingruppen Code, • entdecken die Studierenden optimale Vorgehensweisen in der Datenaufnahme, • erkunden und bewerten die Studierenden unterschiedliche Möglichkeiten für die Evaluation, • diskutieren und präsentieren die Gruppenarbeiter in Gruppen die Vor- und Nachteile ihrer Implementierungen, • diskutieren und reflektieren die Studierenden gesellschaftliche Auswirkungen von Anwendungen des 3D-Rechnersehens. The lecture introduces computer vision algorithms that are central to the field. In the exercises, participants autonomously implement and evaluate these algorithms. The participants work throughout the time on popular computer vision algorithms, like for example stereo vision, optical flow, and 3-D multiview reconstruction. For these problems, the participants • describe perspective projection, rotations, and related geometric foundations, • explain the presented methods,

		• discuss the advantages and disadvantages of different modalities for acquiring 3-D information, • implement individually and in small groups code, • discover best practices in data acquisition, • explore and rank different choices for evaluation, • discuss and present in groups the advantages and disadvantages of their implementations, • discuss and reflect the social impact of applications of computer vision algorithms.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (90 minutes) Dieses Modul wird mit einer Klausur (90 Minuten) geprüft. The form of examination is a written exam of 90 minutes.
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Richard Szeliski: "Computer Vision: Algorithms and Applications", Springer 2011.

Specialization Networks and Digital Communication: Compulsory elective module INF

1	Module name 44130	Pattern Recognition Pattern recognition	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Mathematical foundations of machine learning based on the following classification methods: • Bayesian classifier • Logistic Regression • Naive Bayes classifier • Discriminant Analysis • norms and norm dependent linear regression • Rosenblatt's Perceptron • unconstraint and constraint optimization • Support Vector Machines (SVM) • kernel methods • Expectation Maximization (EM) Algorithm and Gaussian Mixture Models (GMMs) • Independent Component Analysis (ICA) • Model Assessment • AdaBoost Mathematische Grundlagen der maschinellen Klassifikation am Beispiel folgender Klassifikatoren: • Bayes-Klassifikator • Logistische Regression • Naiver Bayes-Klassifikator • Diskriminanzanalyse • Normen und normabhängige Regression • Rosenblatts Perzeptron • Optimierung ohne und mit Nebenbedingungen • Support Vector Maschines (SVM) • Kernelmethoden • Expectation Maximization (EM)-Algorithmus und Gaußsche Mischverteilungen (GMMs) • Analyse durch unabhängige Komponenten • Modellbewertung • AdaBoost
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Struktur von Systemen zur maschinellen Klassifikation einfacher Muster • erläutern die mathematischen Grundlagen ausgewählter maschineller Klassifikatoren • wenden Klassifikatoren zur Lösung konkreter Klassifikationsproblem an

		• beurteilen unterschiedliche Klassifikatoren in Bezug auf ihre Eignung • verstehen in der Programmiersprache Python geschriebene Lösungen von Klassifikationsproblemen und Implementierungen von Klassifikatoren Students • understand the structure of machine learning systems for simple patterns • explain the mathematical foundations of selected machine learning techniques • apply classification techniques in order to solve given classification tasks • evaluate various classifiers with respect to their suitability to solve the given problem • understand solutions of classification problems and implementations of classifiers written in the programming language Python
7	Prerequisites	• Well grounded in probability calculus, linear algebra/matrix calculus • The attendance of our bachelor course 'Introduction to Pattern Recognition' is not required but certainly helpful. • Gute Kenntnisse in Wahrscheinlichkeitsrechnung und Linearer Algebra/Matrizenrechnung • Der Besuch der Bachelor-Vorlesung 'Introduction to Pattern Recognition' ist zwar keine Voraussetzung, aber sicherlich von Vorteil.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english english

16	Bibliography	• Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stock: Pattern Classification, 2nd edition, John Wiley&Sons, New York, 2001 • Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman: The Elements of Statistical Learning - Data Mining, Inference, and Prediction, 2nd edition, Springer, New York, 2009 • Christopher M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, New York, 2006

1	Module name 93015	Einführung in die moderne Kryptographie Introduction to modern cryptography	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Carina Harrius Prof. Dr. Dominique Schröder
5	Contents	This course gives a comprehensive introduction to modern cryptography. The course also serves as a base for other courses on cryptography that are offered by the chair. The topics covered are the following: • Information theoretic security • Computational security • Private key Encryption • Message Authentication Codes • Hash functions • Public key Encryption • Digital Signatures More advanced topics may be covered if time permits.
6	Learning objectives and skills	On successfully passing the course, the student is guaranteed to be knowledgeable on the basic concepts of provable security.
7	Prerequisites	No previous knowledge in Cryptography or computer Security is required.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 165 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Introduction to Modern Cryptography Jonathan Katz and Yehuda Lindell 2nd Edition (2014)

	(Chapman & Hall/CRC Cryptography and Network Security Series)
	ISBN-13: 978-1466570269

1	Module name 97090	Simulation und Modellierung I Simulation and modelling I	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Das Modul vermittelt die Grundlagen der diskreten Ereignissimulation und beinhaltet • diskrete Simulation • analytische Modellierung (z.B. Warteschlangen) • Eingabemodellierung (z.B. Fitting-Verfahren) • Zufallszahlenerzeugung • statistische Ausgabeanalyse • Modellierungsparadigmen (u.a. Ereignis-/Prozessorientierung, Warteschlangen, Automaten, Petri-Netze, UML, graphische Bausteine) • kontinuierliche und hybride Simulation • Simulationssoftware • Fallstudien Content: Overview of the various kinds of simulation • discrete simulation (computational concepts, simulation of queuing systems, simulation in Java, professional simulation tools) • required probability concepts and statistics, modeling paradigms (e.g., event/process oriented, queuing systems, Petri nets, UML statecharts) • input modeling (selecting input probability distributions) • random number generation (linear congruential generators and variants, generating random variates) • output analysis (warm-up period detection, independent replications, result presentation) • continuous and hybrid simulation (differential equations, numerical solution, hybrid statecharts) • simulation software, case studies, parallel and distributed simulation.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erwerben Kenntnisse über Verfahren und Realisierungsmöglichkeiten der diskreten Simulation mit Ausblick auf andere Simulationsarten • erwerben Kenntnisse über statistische Aspekte der Simulation, die für die Anwendung wichtig sind • wenden statistische Methoden zur Analyse und Bewertung von Eingabe- sowie Ausgabedaten an • erwerben praktische Erfahrung mit kommerziellen Simulationswerkzeugen

		• erwerben Erfahrungen bei der Simulation in verschiedenen Anwendungsbereichen (u.a. Rechnernetze, Fertigungssysteme, Materialflusssysteme) • entwickeln eigenständig anhand von Beispielaufgaben Simulationsmodelle unter Verwendung verschiedener Modellierungsparadigmen • können in Gruppen kooperativ und verantwortlich arbeiten Learning targets and competences: Students • gain knowledge about methods and realization possibilities of discrete simulation with an outlook on other types of simulation • gain knowledge of statistical aspects of simulation that are important for practice • apply statistical methods for analysis and evaluation of input and output data • gain hands-on experience with commercial simulation tools • gain experience in simulation in various fields of application (including computer networks, manufacturing systems, material flow systems) • independently develop simulation models on the basis of sample tasks using different modeling paradigms • can work in groups cooperatively and responsibly
7	Prerequisites	elementare Programmierkenntnisse, vorzugsweise in Java, Mathematikkenntnisse in Analysis, wie z.B. im 1. Semester der angewandten Mathematik vermittelt Recommended background knowledge: basic programming skills, preferably in Java, mathematics skills in analysis, such as taught in the first semester in applied mathematics.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Prüfungsleistung/examination: Klausur, benotet, 5 ETCS/written exam, graded, 5 ETCS Dauer (in Minuten)/duration (in minutes): 90 Anteil an der Berechnung der Modulnote/Share in the calculation of the module grade: 100.0 % Die im Rahmen der Übung gestellten (zwei-)wöchentlichen Übungsaufgaben müssen bestanden werden, um das Gesamtmodul anrechnen lassen zu können. Die Übung gilt als bestanden, wenn mindestens 50% der Punkte korrekt bearbeitet wurden. Die Bearbeitung erfolgt in Gruppen von 3 oder 4 Studenten. Die Abgabe erfolgt in Präsenz zu dedizierten Übungsterminen. Wurden mindestens

		70% der Punkte erreicht, wird die Endnote der bestandenen schriftlichen Prüfung entsprechend einer Notenstufe (0.3 oder 0.4) verbessert. Wurden mindestens 90% der Punkte erreicht, wird die Endnote der bestandenen schriftlichen Prüfung entsprechend zwei Notenstufe (0.6 oder 0.7) verbessert. ----- The (bi-)weekly exercise tasks must be passed in order to receive credit for the entire module. The exercise is considered to be passed if at least 50% of the points have been correctly processed. The work is done in groups of 3 or 4 students. The submission is done in presence on dedicated exercise dates. If at least 70% of the points are achieved, the grade of the passed written exam will be improved by one grade level (0.3 or 0.4). If at least 90% of the points are achieved, the grade of the passed written exam will be improved by two grade levels (0.6 or 0.7).
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Law, "Simulation Modeling and Analysis, 5th ed., McGraw Hill, 2014

1	Module name 554695	Nebenläufige Systeme Concurrent systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 869547	Advanced Networking LEx Advanced networking LEx	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Kai-Steffen Hielscher
5	Contents	Für die durch Big Data, Cloud Computing, Internet-of-Things (IoT) und mobile Endgeräte hervorgerufenen Herausforderungen sind neue Architekturen für Rechnernetze entstanden: Software-Defined-Networking (SDN) entkoppelt die Data Plane (Weiterleitung von Paketen, auf handelsüblicher Hardware) und die Control Plane (Steuerung, auf leistungsfähigen Plattformen) und bietet offene Programmierschnittstellen; Network Functions Virtualization (NFV) erweitert Konzepte zur Server- und Netzwerkvirtualisierung, so dass bisher auf proprietärer Hardware ausgeführte Netzwerkfunktionen (wie z.B. Routing) ebenfalls virtualisiert und auf handelsüblicher Hardware ausgeführt werden können. Die Vorlesung stellt hinter diesen Technologien stehende Konzepte und Standards vor und zeigt, wie sie für Rechenzentren, für Cloud- und Fog-Computing und für IoT-Anwendungen eingesetzt werden können. Content: New architectures for computer networks have emerged to meet the challenges posed by Big Data, Cloud Computing, Internet-of-Things (IoT) and mobile devices: Software-Defined-Networking (SDN) decouples the data plane (forwarding of packets, on commercially available hardware) and the control plane (control, on powerful platforms) and offers open programming interfaces; Network Functions Virtualization (NFV) extends concepts for server and network virtualisation, so that network functions (such as routing) previously executed on proprietary hardware can also be virtualised and executed on commercially available hardware. The lecture introduces concepts and standards behind these technologies and shows how they can be used for data centres, for cloud and fog computing and for IoT applications.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Verstehen Die Studierenden erlangen Verständnis der grundlegenden Konzepte von • Software Defined Networking • Network Function Virtualization • Internet of Things • Cloud Computing. Anwenden Die Studierenden wenden die Erkenntnisse in Übungsaufgaben an. Erschaffen

		Die Studierenden erstellen eigene Laborkonfigurationen zu • Software Defined Networking • Internet of Things. Competences: Professional competence Understanding Students will gain an understanding of the basic concepts of • Software Defined Networking • Network Function Virtualization • Internet of Things • Cloud Computing. Apply Students apply the knowledge gained in exercises. Create The students create their own laboratory configurations on • Software Defined Networking • Internet of Things.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio Prüfungsleistung, mehrteilige Prüfung, Dauer (in Minuten): 30, benotet Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100.0 % weitere Erläuterungen: Die Modulprüfung besteht aus: • Bearbeitung (zwei)wöchentlicher Aufgabenblätter in Gruppenarbeit. Für diese unbenotete Studienleistung sind alle Aufgabenblätter korrekt zu lösen und abzugeben. • mündliche Prüfung (Dauer: 30 Minuten)
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	William Stallings: Foundations of Modern Networking - SDN, QoE, IoT, and Cloud; Pearson

1	Module name 901895	Deep Learning Deep learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Deep Learning (2 SWS) Übung: DL E (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier Zijin Yang Alexander Barnhill	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Deep Learning (DL) has attracted much interest in a wide range of applications such as image recognition, speech recognition and artificial intelligence, both from academia and industry. This lecture introduces the core elements of neural networks and deep learning, it comprises: • (multilayer) perceptron, backpropagation, fully connected neural networks • loss functions and optimization strategies • convolutional neural networks (CNNs) • activation functions • regularization strategies • common practices for training and evaluating neural networks • visualization of networks and results • common architectures, such as LeNet, Alexnet, VGG, GoogleNet • recurrent neural networks (RNN, TBPTT, LSTM, GRU) • deep reinforcement learning • unsupervised learning (autoencoder, RBM, DBM, VAE) • generative adversarial networks (GANs) • weakly supervised learning • applications of deep learning (segmentation, object detection, speech recognition, ...) The accompanying exercises will provide a deeper understanding of the workings and architecture of neural networks.
6	Learning objectives and skills	The students • explain the different neural network components, • compare and analyze methods for optimization and regularization of neural networks, • compare and analyze different CNN architectures, • explain deep learning techniques for unsupervised / semi-supervised and weakly supervised learning, • explain deep reinforcement learning, • explain different deep learning applications, • implement the presented methods in Python, • autonomously design deep learning techniques and prototypically implement them, • effectively investigate raw data, intermediate results and results of Deep Learning techniques on a computer,

		• autonomously supplement the mathematical foundations of the presented methods by self-guided study of the literature, • discuss the social impact of applications of deep learning applications.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Written exam, 90 min.
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville: Deep Learning. MIT Press, 2016. • Christopher Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer Verlag, Heidelberg, 2006 • Yann LeCun, Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton: Deep learning. Nature 521, 436444 (28 May 2015)

1	Module name 965820	Approximate Computing Approximate computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Exercises to Approximate Computing (2 SWS) Vorlesung: Approximate Computing (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Pierre-Louis Sixdenier Khalil Esper Jose Juan Hernandez Morales Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Approximate Computing denotes a quite young research area that exploits the fact and capability of many applications and systems to tolerate imprecision and/or inexactness of computed results. Prominent areas of applications and novel techniques of computing approximate rather than exact results have brought up new implementations either at hardware and/or software levels for important emergent workloads such as searching, mining, image processing, and data retrieval. Although hardware technology is improving at a fast pace, energy and power are becoming more and more important constraints apart from exactly computing results in an acceptable amount of time. The main goals of approximate computing techniques are therefore to exploit the possible trade-off between power/energy consumption, accuracy, performance, and/or cost, e.g., utilized hardware resources. The purpose of the course approximate computing is to instruct students about the main ideas and concepts of approximate computing. This includes analyzing the trade-off between energy consumption, accuracy, run-time and hardware costs, concrete approximating techniques (e.g. approximate hardware synthesis, approximating algorithms) as well as theoretical background (determining the computational error and its complexity).
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen - The students know the principles and benefits of Approximate Computing and when it is applicable. - The students know multiple error metrics and their semantic meaning. Fachkompetenz - Verstehen - The students understand the difference between the error metrics. - The students understand the principle of function falsification. - The students can apply the presented approximation techniques. Fachkompetenz - Anwenden - The students are capable of choosing the appropriate approximation technique based on given requirements.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Oral exam in case of less than 20 participants (duration 30 mins). Otherwise, written exam (duration 90 mins).
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/approximate-computing

1	Module name 93069	Cyber Security for Smart Grids	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Abdullah Alshraa Dr.-Ing. Kai-Steffen Hielscher
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	
16	Bibliography	

Specialization Media Processing Systems: Compulsory elective module INF

1	Module name 43722	Scientific Visualization Scientific visualization	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Tutorials to Scientific Visualization (2 SWS) Vorlesung: Scientific Visualization (2 SWS)	0 ECTS 5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Tobias Günther Xingze Tian	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Tobias Günther
5	Contents	The amount of data, generated in the pursuit of scientific discovery, keeps rapidly increasing across all major scientific disciplines. How can we make sense of large, time-dependent, high-dimensional and multi-variate data? This lecture provides an introduction into scientific visualization. Throughout the course, we cover the fundamental perception basics needed to convey information accurately. After categorizing different data types based on their dimensionality, we dive deeper into specific techniques for scalar, vector and tensor valued data. The lecture covers the following topics: • visualization design basics (data abstraction, visual encoding of information), • a review of scalar and vector calculus (differential properties, extremal and critical points), • data structures and data acquisition techniques (grids, interpolation, and differentiation), • indirect volume visualization (marching cubes and contour trees), • direct volume visualization (ray marching and Monte Carlo rendering), • elementary and line-based flow visualization (numerical integration, seeding, rendering), • surface-based flow visualization (integration, selection, rendering), • topology-based flow visualization (topological skeleton, bifurcations, feature flow fields), • feature-based flow visualization (vortices, material boundaries, Lagrangian coherent structures), • advanced methods (tensor visualization, uncertainty, ensembles)
6	Learning objectives and skills	Students are able to: • use perception basics to select appropriate visualization methods • classify data and select appropriate visualization techniques • calculate differential properties of scalar and vector fields • identify features in scalar and vector-valued data • implement numerical extraction algorithms • learn the advantages and disadvantages of common visualization techniques

7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Electronic exam in presence with multiple choice questions (90 minutes)
11	Grading procedure	Variable (100%) The final grade of the module is determined by the exam. Exercise bonus: Obtaining more than 80% of the points across all theoretical exercises awards an exam bonus of a third grade.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 44120	Pattern Analysis Pattern analysis	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Pattern Analysis (4 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Christian Riess	

4	Module coordinator	Christian Riess
5	Contents	This lecture is the sequel to the lecture "Pattern Recognition". As such, it covers topics from the chapters 8-14 from the book "Pattern Recognition and Machine Learning" by Christopher Bishop. These topics include various aspects of Bayesian modeling, including (but not limited to) probabilistic graphical models, mixture modeling, variational inference, sampling methods, manifold learning, Markov random fields, hidden Markov models, tree-based methods and ensembling.
6	Learning objectives and skills	The students • explain the discussed methods for classification, prediction, and analysis of patterns, • compare and analyze methods for manifold learning and select a suited method for a given set of features and a given problem, • compare and analyze methods for probability density estimation and select a suited method for a given set of features and a given problem, • apply non-parametric probability density estimation to pattern analysis problems, • apply dimensionality reduction techniques to high-dimensional feature spaces, • explain statistic modeling of feature sets and sequences of features, • explain statistic modeling of statistical dependencies
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (60 minutes) Die Prüfung ist eine schriftliche Klausur mit Multiple Choice mit einer Dauer von 60 Minuten. / The form of examination is a written exam with multiple choice with a duration of 60 minutes.
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Begleitende Literatur / Accompanying literature: • C. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer Verlag, Heidelberg, 2006 • T. Hastie, R. Tibshirani und J. Friedman: The Elements of Statistical Learning, 2nd Edition, Springer Verlag, 2009 • A. Criminisi and J. Shotton: Decision Forests for Computer Vision and Medical Image Analysis, Springer, 2013

1	Module name 179490	Echtzeitsysteme mit erweiterten Übungen Real-time systems with extended exercises	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Videobearbeitung in Echtzeit, Echtzeitstrategiespiel, echtzeitfähig - der Begriff Echtzeit ist wohl einer der am meisten strapazierten Begriffe der Informatik und wird in den verschiedensten Zusammenhängen benutzt. Diese Vorlesung beschäftigt sich mit dem Begriff Echtzeit aus der Sicht von Betriebssystemen - was versteht man eigentlich unter dem Begriff Echtzeit im Betriebssystemumfeld, wo und warum setzt man sog. Echtzeitbetriebssysteme ein und was zeichnet solche Echtzeitbetriebssysteme aus? In dieser Vorlesung geht es darum, die oben genannten Fragen zu beantworten, indem die grundlegenden Techniken und Mechanismen vermittelt werden, die man im Betriebssystemumfeld verwendet, um Echtzeitsysteme und Echtzeitbetriebssysteme zu realisieren. Im Rahmen dieser Vorlesung werden unter anderem folgende Themen behandelt: • zeitgesteuerte und ereignisgesteuerte Systeme • statische und dynamische Ablaufplanungsverfahren • Fadensynchronisation in Echtzeitbetriebssystemen • Behandlung von periodischen und nicht-periodischen Ereignissen In den begleitenden Übungen werden die in der Vorlesung vorgestellten Techniken bei der Entwicklung eines kleinen Echtzeitsystems praktisch umgesetzt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • unterscheiden die verschiedenen Komponenten eines Echtzeitsystems. • bewerten die Verbindlichkeiten von Terminvorgaben (weich, fest, hart). • erläutern die Zusammensetzung des Laufzeitverhaltes einer Echtzeitanwendung. • klassifizieren die Berührungspunkte zwischen physikalischem Objekt und kontrollierendem Echtzeitsystem. • interpretieren die Zeitparameter des durch das Echtzeitrechnungssystem zu kontrollierenden Objekts. • nennen die Zeitparameter des zugrundeliegenden Rechnungssystems (Unterbrechungslatenz, Ausführungszeit, ...). • unterscheiden synchrone und asynchrone Programmunterbrechung (insbesondere Trap/Interrupt, Ausnahmebehandlung und Zustandssicherung). • skizzieren die Verwaltungsgemeinkosten des schlimmsten Falls.

- entwickeln in der Programmiersprache C und wenden die GNU Werkzeugkette für den ARM Cortex M4 an.
- erstellen Echtzeitanwendungen auf Basis der eCos OS-Schnittstelle
- ordnen die Strukturelemente von Echtzeitanwendungen zu: Aufgabe, Arbeitsauftrag und Faden.
- erläutern die Implikationen von zeitlichem Mehrfachbetrieb auf die Verwaltungsgemeinkosten.
- unterscheiden die Umsetzungsalternativen zur Ablaufsteuerung und die Trennung der Belange in Einplanung (Strategie) und Einlastung (Mechanismus).
- benennen die grundsätzliche Verfahren der Ablaufsteuerung (taktgesteuert, reihum, vorranggesteuert).
- erklären die grundlegenden Zeitparameter einer Aufgabe (Auslösezeitpunkt, Termin, Antwortzeit, Latenz, Ausführungszeit, Schlupfzeit).
- unterscheiden die Grundlagen der Planbarkeit (gültig vs. zulässig, Optimalität von Einplanungsalgorithmen).
- beschreiben den Unterschied zwischen konstruktiver und analytischer Einhaltung von Terminen-.
- vergleiche die Möglichkeiten (statisch, dynamisch) der zeitliche Analyse von Echtzeitanwendungen.
- erklären die Grundlagen und Beschränkungen von dynamischer (worst-case?) und statischer WCET-Analyse (makroskopisch und mikroskopisch).
- illustrieren Lösungsverfahren zur Bestimmung des längsten Ausführungspfads (Timing Schema, IPET).
- erstellen Zeitmessung mittels Zeitgeber / Oszilloskop und bestimmen den längsten Pfad durch Code-Review.
- erproben und konzipieren werkzeuggestützte WCET-Analyse mittels des absint aiT Analysewerkzeugs.
- Entwickeln und annotieren Flußrestriktionen für die statische WCET-Analyse.
- beschreiben die Grundlagen der Abfertigung periodischer Echtzeitsysteme (Periode, Phase, Hyperperiode).
- skizzieren das periodische Modell und dessen Folgen (Entwicklungskomfort vs. Analysierbarkeit).
- erklären die ereignisgesteuerte Ausführung (feste und dynamische Priorität, Verdrängbarkeit) mittels ereignisorientierter Planer (Berechnungskomplexität, MLQ-Scheduler, O(1)-Scheduler).
- unterscheiden die zeitgesteuerte Ausführung (Busy Loop, Ablaufplan) und die Abfertigung von Arbeitsaufträgen im Abfrage- bzw. Unterbrecherbetrieb.
- wenden die Grundlagen der ereignisgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme an.
- unterscheiden Verfahren zur statischen (RM, DM) und dynamischen Prioritätsvergabe (EDF, LRT, LST).

- nennen den Unterschied zwischen Anwendungs- und Systemebene (Mehrdeutigkeit von Prioritäten).
- erläutern den Optimalitätsnachweis des RM-, DM- und EDF-Algorithmus und dessen Ausnahmen.
- beschreiben grundlegende Verfahren zur Planbarkeitsanalyse (CPU-Auslastung, Antwortzeitanalyse).
- implementieren komplexe Aufgabensysteme in eCos.
- unterscheiden die Grundlagen der zeitgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme.
- erstellen regelmäßige, zyklische Ablaufpläne (cyclic executive model, Rahmen).
- vergleiche Methoden der manuellen und algorithmischen Ablaufplanung.
- unterscheiden optimale von heuristischen Verfahren (List Scheduling, Branch & Bound).
- diskutieren die Konsequenzen eines Betriebswechsels in Echtzeitsystemen.
- erstellen takt- beziehungsweise ereignisgesteuerte Abläufe in eCos beziehungsweise tt-eCos.
- entwickeln ein softwarebasiertes Oszilloskop und erstellen dessen zeitliche Analyse und Ablaufplanung.
- klassifizieren die Grundlagen der Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme (minimale Zwischenankunftszeit).
- definieren die Verbindlichkeiten von nicht-periodischen Aufgaben (aperiodisch, sporadisch)
- zeigen die sich ergebenden Restriktionen des periodischen Modells (Mischbetrieb, Prioritätswarteschlangen, Übernahmeprüfung) auf.
- beschreiben die Basistechniken des Laufzeitsystems (Zusteller, Unterbrecherbetrieb, Hintergrundbetrieb).
- quantifizieren die Eigenschaften und Auswirkungen auf den periodischen Teil des Echtzeitsystems.
- formulieren die Grundlagen des Slack-Stealing.
- beschreiben den Einsatz von bandweite-bewahrenden Zustellern.
- unterscheiden aufschiebbare Zusteller und Sporadic Server (SpSL und POSIX).
- wenden eine Übernahmeprüfung bei sporadischen Aufgaben mittels dichte- oder schlupfbasierten Akzeptanztests an.
- arbeiten einen strukturierter Ablaufplan (Rahmen) aus und untersuchen den Einsatz von Slack-Stealing.
- ermitteln gerichtete Abhängigkeiten und Rangfolgen in Echtzeitanwendungen (Abhängigkeits- und Aufgabengraph).
- stellen Umsetzungsalternativen für Abhängigkeiten einander gegenüber (naiv, implizit, explizit).
- beschreiben das Konzept der zeitlichen Domänen und physikalischer bzw. logischer Ereignisse.

		• übertragen Abhängigkeiten auf das Problem der Ablaufplanung (modifiziere Auslösezeitpunkt/Termin, Phasenversatz). • konzipieren Rangfolge und aperiodische Steuerung in eCos. • implementieren einen aperiodischer Moduswechsel mit Zustandsüberführung in eCos. • gestalten einen Signal-Trigger für das entwickelte softwarebasierten Oszilloskops. • konzipieren explizite Synchronisation mittels Nachrichten in eCos. • wenden die Grundlagen von Wettstreit um Betriebsmitteln, Konkurrenz und Konfliktsituationen (kritische Abschnitte, (un)kontrollierte Prioritätsumkehr) an. • beschreiben echtzeitfähige Synchronisationsprotokolle (NPCS, PI, PCP). • nennen die Vor- und Nachteile der Techniken (transitive Blockung, Verklemmungen). • hinterfragen die Vereinfachung des PCP durch stapelbezogene Grenzprioritäten. • bestimmen die Ablaufplanung unter Berücksichtigung von Blockierungszeiten und Selbstsuspendierung. • implementieren Zugriffskontrolle (NPCS, PI, PCP) in Echtzeitanwendungen mit eCos. • analysieren Blockade für die Zugriffskontrolle in eCos. • erläutern die Anforderungen an verteilte Echtzeitsysteme (Komposition, Erweiterbarkeit, Komplexität, Ereignis- vs. Zustandsnachricht). • fassen die Grundlagen von Knoten, Netzwerkschnittstellen und Netzübergängen sowie die Konzepte der expliziten und impliziten Flusskontrolle zusammen. • erschließen sich typische Probleme (zeitliche Analyse, Beobachtbarkeit, Synchronisation, Rangfolge) und Fehlerquellen bei der Programmierung von Echtzeitanwendungen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein, eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio 30-minütige mündliche Prüfung über den gesamten Stoff der Veranstaltung. Teilnahme an den Übungen und die Bearbeitung aller Übungsaufgaben wird hierzu dringend empfohlen!
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich aus der 30-minütigen mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Hermann Kopetz. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Kluwer Academic Publishers, 1997. • Jane W. S. Liu. Real-Time Systems. Prentice-Hall, Inc., 2000. • Wolfgang Schröder-Preikschat. System-programmierung. Vorlesungsfolien. 2006.

1	Module name 292952	Hardware-Software-Co-Design (Vorlesung mit erweiterter Übung) Hardware-software-co-design (Lecture with extended exercises)	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: UE-HSCD (2 SWS) Vorlesung: Hardware-Software-Co-Design (2 SWS) Übung: Erweiterte Übungen zu Hardware-Software-Co-Design (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Muhammad Sabih Tobias Hahn Abrarul Karim Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	
5	Contents	Zahlreiche Realisierungen eingebetteter Systeme (z.B. Mobiltelefone, Faxgeräte, Industriesteuerungen) zeichnen sich durch kooperierende Hardware- und Softwarekomponenten aus. Die Popularität solcher Realisierungsformen lässt sich begründen durch 1) die steigende Vielfalt und Komplexität heterogener Systeme, 2) die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken und 3) Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Entwurfsmethoden). Zum Beispiel bieten Halbleiterhersteller kostengünstige ASICs an, die einen Mikrocontroller und benutzerspezifische Peripherie und Datenpfade auf einem Chip integrieren. Die Synthese solcher Systeme wirft jedoch eine Reihe neuartiger Entwurfsprobleme auf, insbesondere 1) die Frage der Auswahl von Hardware- und Softwarekomponenten, 2) die Partitionierung einer Spezifikation in Hard- und Software, 3) die automatische Synthese von Interface- und Kommunikationsstrukturen und 4) die Verifikation und Cosimulation. 1) Überblick und Vergleich von Architekturen und Komponenten in Hardware/Software-Systemen. 2) Aufbau eines Compilers und Codeoptimierungsverfahren für Hardware und Software 3) Hardware/Software-Partitionierung (Partitionierung komplexer Systeme, Schätzungsverfahren, Performanzanalyse, Codegenerierung) 4) Interfacesynthese (Kommunikationsarten, Synchronisation, Synthese) 5) Verifikation und Cosimulation 6) Tafelübungen 7) Demonstrationen mit rechnergestützten Entwurfswerkzeugen und praktische Übungen Content: Numerous realisations of embedded systems (e.g. mobile phones, fax machines, industrial controls) are characterised by cooperating hardware and software components. The popularity of such realisations can be explained by 1) the increasing diversity and	

		complexity of heterogeneous systems, 2) the need to reduce design and testing costs, and 3) advances in key technologies (microelectronics, formal design methods). For example, semiconductor manufacturers offer low-cost ASICs that integrate a microcontroller and user-specific peripherals and data paths on a single chip. However, the synthesis of such systems raises a number of novel design problems, in particular 1) the issue of hardware and software component selection, 2) the partitioning of a specification into hardware and software, 3) the automatic synthesis of interface and communication structures, and 4) verification and cosimulation. 1) Overview and comparison of architectures and components in hardware/software systems. 2) Structure of a compiler and code optimisation procedures for hardware and software. 3) Hardware/software partitioning (partitioning of complex systems, estimation procedures, performance analysis, code generation) 4) Interface synthesis (communication types, synchronisation, synthesis) 5) Verification and cosimulation 6) Blackboard exercises 7) Demonstrations with computer-aided design tools and practical exercises
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen • Die Studierenden erhalten Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet. Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden verstehen Grundlagen des modernen Systementwurfs. • Die Studierenden erklären Implementierungsalternativen für digitale Hardware/Software-Systeme. Fachkompetenz - Anwenden • Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an, zur Analyse und Optimierung von Hardware/Software-Systemen. • Die Studierenden wenden das erlernte Wissen in den erweiterten Übungen vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls an. Sozialkompetenz • Die Studierenden benutzen aktuelle Entwurfswerkzeuge für die Spezifikation, Optimierung und Prototypisierung von Hardware/Software-Systemen bei der kooperativen Bearbeitung der erweiterten Übung in Gruppen. Competences: Professional competence - Knowledge • Students gain insight into a current field of research. Professional competence - Understanding • Students understand the basics of modern system design. • Students explain implementation alternatives for digital hardware/software systems. Professional competence - Application

		- Students apply basic algorithms to analyse and optimise hardware/software systems. - The students apply the knowledge they have acquired in the extended exercises on site at the computer workstations of the department. Social competence - The students use current design tools for the specification, optimisation and prototyping of hardware/software systems in the cooperative processing of the extended exercise in groups.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Hardware-Software-Co-Design“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Klausur (90 min) und erfolgreicher Bearbeitung aller Übungsaufgaben in den erweiterten Übungen (verpflichtend, vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls). Die Sprache der Klausur ist abhängig von der Wahl der Studierenden entweder Deutsch oder Englisch.
11	Grading procedure	Written examination (100%) Die Modulnote ergibt sich aus der Klausurnote.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: - Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6 - Gajski, D. et al.: "Specification and Design of Embedded Systems", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994, ISBN: 978-0131507319 Weitere Informationen:

	https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/hardware-software-co-design

1	Module name 330467	Multimedia Security Multimedia security	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Christian Riess
5	Contents	This lecture covers a variety of security-related topics around multimedia data. In particular, the lecture presents algorithms and key results from the past 15 years in multimedia security, including topics on image forensics, steganography, watermarking, and biometrics. Selected algorithms are implemented and tested by the participants. It is helpful to bring some knowledge in signal processing or pattern recognition. It is also helpful to be not afraid from equations. Tentative list of topics and algorithms: • Image forensics for manipulation detection in digital media. Statistical and physics-based features for manipulation detection. Detecting traces of manipulations versus validating image authenticity. • Blind source attribution: was an image or video captured with a particular camera? • Steganography for covert communication. Fundamental algorithms, when can their application be detected? • Watermarking for copyright protection in images/video. Fundamental algorithms, and their security. • Biometric features for person re-identification, and practical concerns on their implementation.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Verstehen Die Studierenden fassen die wesentlichen Fragestellungen auf dem Gebiet der Multimediasicherheit zusammen (The participants summarize the relevant questions within the field of multimedia security). Die Studierenden nennen und erklären die wesentlichen Fachbegriffe aus den Teilgebieten der Multimediasicherheit (The participants name and explain relevant terms from the subfields of multimedia security). Evaluieren (Beurteilen) Die Studierenden bewerten die Eignung der vorgestellten bildforensischen Algorithmen für ein gegebenes Untersuchungsszenario (The participants evaluate the suitability of the presented image forensics algorithms for a given examination scenario). Erschaffen Die Studierenden implementieren kurze Beispielsprogramme für ausgewählte Algorithmen der Multimediasicherheit (The participants implement short example programs for selected algorithms of multimedia security). Lern- bzw. Methodenkompetenz

		Die Studierenden implementieren ausgewählte Methoden in der Programmiersprache C++ (The participants implement selected methods in the C++ programming language). Sozialkompetenz Die Studierenden implementieren und diskutieren Beispielsmethoden in Gruppenarbeit (The participants implement and discuss the example method in groups). Die Studierenden diskutieren die gesellschaftlichen Auswirkung von Multimediasicherheit am Beispiel aktueller Probleme (The participants discuss multimedia security's impact on society using current issues).
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	begleitend zu der Veranstaltung: - Husrev Sencar, Nasir Memon (Editors): "Digital Image Forensics. There is More to a Picture than Meets the Eye", Springer 2013. - Hany Farid: "Photo Forensics", MIT Press, 2016.

1	Module name 502509	Hardware-Software-Co-Design Hardware-software-co-design	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: UE-HSCD (2 SWS) Vorlesung: Hardware-Software-Co-Design (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Muhammad Sabih Tobias Hahn Abrarul Karim Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Zahlreiche Realisierungen eingebetteter Systeme (z.B. Mobiltelefone, Faxgeräte, Industriesteuerungen) zeichnen sich durch kooperierende Hardware- und Softwarekomponenten aus. Die Popularität solcher Realisierungsformen lässt sich begründen durch 1) die steigende Vielfalt und Komplexität heterogener Systeme, 2) die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken und 3) Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Entwurfsmethoden). Zum Beispiel bieten Halbleiterhersteller kostengünstige ASICs an, die einen Mikrocontroller und benutzerspezifische Peripherie und Datenpfade auf einem Chip integrieren. Die Synthese solcher Systeme wirft jedoch eine Reihe neuartiger Entwurfsprobleme auf, insbesondere 1) die Frage der Auswahl von Hardware- und Softwarekomponenten, 2) die Partitionierung einer Spezifikation in Hard- und Software, 3) die automatische Synthese von Interface- und Kommunikationsstrukturen und 4) die Verifikation und Cosimulation. 1) Überblick und Vergleich von Architekturen und Komponenten in Hardware/Software-Systemen. 2) Aufbau eines Compilers und Codeoptimierungsverfahren für Hardware und Software 3) Hardware/Software-Partitionierung (Partitionierung komplexer Systeme, Schätzungsverfahren, Performanzanalyse, Codegenerierung) 4) Interfacesynthese (Kommunikationsarten, Synchronisation, Synthese) 5) Verifikation und Cosimulation 6) Tafelübungen Content: Numerous realisations of embedded systems (e.g. mobile phones, fax machines, industrial controls) are characterised by cooperating hardware and software components. The popularity of such realisations can be explained by 1) the increasing diversity and complexity of heterogeneous systems, 2) the need to reduce design and testing costs, and 3) advances in key technologies (microelectronics, formal design methods). For example, semiconductor manufacturers offer low-cost ASICs that integrate a microcontroller and user-specific peripherals and data paths on a single chip. However, the synthesis of such systems raises a number of novel design problems, in particular 1) the issue of hardware and software

		component selection, 2) the partitioning of a specification into hardware and software, 3) the automatic synthesis of interface and communication structures, and 4) verification and cosimulation. 1) Overview and comparison of architectures and components in hardware/software systems. 2) Structure of a compiler and code optimisation procedures for hardware and software. 3) Hardware/software partitioning (partitioning of complex systems, estimation procedures, performance analysis, code generation) 4) Interface synthesis (communication types, synchronisation, synthesis) 5) Verification and cosimulation 6) Blackboard exercises
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen • Die Studierenden erhalten Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet. Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden verstehen Grundlagen des modernen Systementwurfs. • Die Studierenden erklären Implementierungsalternativen für digitale Hardware/Software-Systeme. Fachkompetenz - Anwenden • Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an, zur Analyse und Optimierung von Hardware/Software-Systemen. Competences: Professional competence - Knowledge • Students gain insight into a current field of research. Professional competence - Understanding • Students understand the basics of modern system design. • Students explain implementation alternatives for digital hardware/software systems. Professional competence - Application • Students apply basic algorithms to analyse and optimise hardware/software systems.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Hardware-Software-Co-Design (Vorlesung mit erweiterter Übung)“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h

14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: • Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6 • Gajski, D. et al.: "Specification and Design of Embedded Systems", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994, ISBN: 978-0131507319 Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/hardware-software-co-design

1	Module name 707303	Echtzeitsysteme (Vorlesung mit Übungen) Real-time systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Videobearbeitung in Echtzeit, Echtzeitstrategiespiel, echtzeitfähig - der Begriff Echtzeit ist wohl einer der am meisten strapazierten Begriffe der Informatik und wird in den verschiedensten Zusammenhängen benutzt. Diese Vorlesung beschäftigt sich mit dem Begriff Echtzeit aus der Sicht von Betriebssystemen - was versteht man eigentlich unter dem Begriff Echtzeit im Betriebssystemumfeld, wo und warum setzt man sog. Echtzeitbetriebssysteme ein und was zeichnet solche Echtzeitbetriebssysteme aus? In dieser Vorlesung geht es darum, die oben genannten Fragen zu beantworten, indem die grundlegenden Techniken und Mechanismen vermittelt werden, die man im Betriebssystemumfeld verwendet, um Echtzeitsysteme und Echtzeitbetriebssysteme zu realisieren. Im Rahmen dieser Vorlesung werden unter anderem folgende Themen behandelt: • zeitgesteuerte und ereignisgesteuerte Systeme • statische und dynamische Ablaufplanungsverfahren • Fadensynchronisation in Echtzeitbetriebssystemen • Behandlung von periodischen und nicht-periodischen Ereignissen In den begleitenden Übungen werden die in der Vorlesung vorgestellten Techniken bei der Entwicklung eines kleinen Echtzeitsystems praktisch umgesetzt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • unterscheiden die verschiedenen Komponenten eines Echtzeitsystems. • bewerten die Verbindlichkeiten von Terminvorgaben (weich, fest, hart). • erläutern die Zusammensetzung des Laufzeitverhaltes einer Echtzeitanwendung. • klassifizieren die Berührungspunkte zwischen physikalischem Objekt und kontrollierendem Echtzeitsystem. • interpretieren die Zeitparameter des durch das Echtzeitrechnungssystem zu kontrollierenden Objekts. • nennen die Zeitparameter des zugrundeliegenden Rechnungssystems (Unterbrechungslatenz, Ausführungszeit, ...). • unterscheiden synchrone und asynchrone Programmunterbrechung (insbesondere Trap/Interrupt, Ausnahmebehandlung und Zustandssicherung). • skizzieren die Verwaltungsgemeinkosten des schlimmsten Falls.

- entwickeln in der Programmiersprache C und wenden die GNU Werkzeugkette für den ARM Cortex M4 Microcontroller an.
- erstellen Echtzeitanwendungen auf Basis der eCos OS-Schnittstelle
- ordnen die Strukturelemente von Echtzeitanwendungen zu: Aufgabe, Arbeitsauftrag und Faden.
- erläutern die Implikationen von zeitlichem Mehrfachbetrieb auf die Verwaltungsgemeinkosten.
- unterscheiden die Umsetzungsalternativen zur Ablaufsteuerung und die Trennung der Belange in Einplanung (Strategie) und Einlastung (Mechanismus).
- benennen die grundsätzliche Verfahren der Ablaufsteuerung (taktgesteuert, reihum, vorranggesteuert).
- erklären die grundlegenden Zeitparameter einer Aufgabe (Auslösezeitpunkt, Termin, Antwortzeit, Latenz, Ausführungszeit, Schlupfzeit).
- unterscheiden die Grundlagen der Planbarkeit (gültig vs. zulässig, Optimalität von Einplanungsalgorithmen).
- beschreiben den Unterschied zwischen konstruktiver und analytischer Einhaltung von Terminen-.
- vergleiche die Möglichkeiten (statisch, dynamisch) der zeitliche Analyse von Echtzeitanwendungen.
- erklären die Grundlagen und Beschränkungen von dynamischer (worst-case?) und statischer WCET-Analyse (makroskopisch und mikroskopisch).
- illustrieren Lösungsverfahren zur Bestimmung des längsten Ausführungspfads (Timing Schema, IPET).
- erstellen Zeitmessung mittels Zeitgeber / Oszilloskop und bestimmen den längsten Pfad durch Code-Review.
- erproben werkzeuggestützte WCET-Analyse mittels des absint aiT Analysewerkzeugs.
- beschreiben die Grundlagen der Abfertigung periodischer Echtzeitsysteme (Periode, Phase, Hyperperiode).
- skizzieren das periodische Modell und dessen Folgen (Entwicklungskomfort vs. Analysierbarkeit).
- erklären die ereignisgesteuerte Ausführung (feste und dynamische Priorität, Verdrängbarkeit) mittels ereignisorientierter Planer (Berechnungskomplexität, MLQ-Scheduler, O(1)-Scheduler).
- unterscheiden die zeitgesteuerte Ausführung (Busy Loop, Ablaufplan) und die Abfertigung von Arbeitsaufträgen im Abfrage- bzw. Unterbrecherbetrieb.
- wenden die Grundlagen der ereignisgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme an.
- unterscheiden Verfahren zur statischen (RM, DM) und dynamischen Prioritätsvergabe (EDF, LRT, LST).
- nennen den Unterschied zwischen Anwendungs- und Systemebene (Mehrdeutigkeit von Prioritäten).

- erläutern den Optimalitätsnachweis des RM-, DM- und EDF-Algorithmus und dessen Ausnahmen.
- beschreiben grundlegende Verfahren zur Planbarkeitsanalyse (CPU-Auslastung, Antwortzeitanalyse).
- implementieren komplexe Aufgabensysteme in eCos.
- unterscheiden die Grundlagen der zeitgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme.
- erstellen regelmäßige, zyklische Ablaufpläne (cyclic executive model, Rahmen).
- vergleichen Methoden der manuellen und algorithmischen Ablaufplanung.
- unterscheiden optimale von heuristischen Verfahren (List Scheduling, Branch & Bound).
- diskutieren die Konsequenzen eines Betriebswechsels in Echtzeitsystemen.
- erstellen takt- beziehungsweise ereignisgesteuerte Abläufe in eCos beziehungsweise tt-eCos.
- klassifizieren die Grundlagen der Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme (minimale Zwischenankunftszeit).
- definieren die Verbindlichkeiten von nicht-periodischen Aufgaben (aperiodisch, sporadisch)
- zeigen die sich ergebenden Restriktionen des periodischen Modells (Mischbetrieb, Prioritätswarteschlangen, Übernahmeprüfung) auf.
- beschreiben die Basistechniken des Laufzeitsystems (Zusteller, Unterbrecherbetrieb, Hintergrundbetrieb).
- quantifizieren die Eigenschaften und Auswirkungen auf den periodischen Teil des Echtzeitsystems.
- formulieren die Grundlagen des Slack-Stealing.
- beschreiben den Einsatz von bandweite-bewahrenden Zustellern.
- unterscheiden aufschiebbare Zusteller und Sporadic Server (SpSL und POSIX).
- wenden eine Übernahmeprüfung bei sporadischen Aufgaben mittels dichte- oder schlupfbasierten Akzeptanztests an.
- arbeiten einen strukturierter Ablaufplan (Rahmen) aus und untersuchen den Einsatz von Slack-Stealing.
- ermitteln gerichtete Abhängigkeiten und Rangfolgen in Echtzeitanwendungen (Abhängigkeits- und Aufgabengraph).
- stellen Umsetzungsalternativen für Abhängigkeiten einander gegenüber (naiv, implizit, explizit).
- beschreiben das Konzept der zeitlichen Domänen und physikalischer bzw. logischer Ereignisse.
- übertragen Abhängigkeiten auf das Problem der Ablaufplanung (modifiziere Auslöszeitpunkt/Termin, Phasenversatz).
- konzipieren Rangfolge und aperiodische Steuerung in eCos.

		• implementieren einen aperiodischer Moduswechsel mit Zustandsüberführung in eCos. • wenden die Grundlagen von Wettstreit um Betriebsmitteln, Konkurrenz und Konfliktsituationen (kritische Abschnitte, (un)kontrollierte Prioritätsumkehr) an. • beschreiben echtzeitfähige Synchronisationsprotokolle (NPCS, PI, PCP). • nennen die Vor- und Nachteile der Techniken (transitive Blockung, Verklemmungen). • hinterfragen die Vereinfachung des PCP durch stapelbezogene Grenzprioritäten. • bestimmen die Ablaufplanung unter Berücksichtigung von Blockierungszeiten und Selbstsuspendierung. • implementieren Zugriffskontrolle (NPCS, PI, PCP) in Echtzeitanwendungen mit eCos. • erläutern die Anforderungen an verteilte Echtzeitsysteme (Komposition, Erweiterbarkeit, Komplexität, Ereignis- vs. Zustandsnachricht). • fassen die Grundlagen von Knoten, Netzwerkschnittstellen und Netzübergängen sowie die Konzepte der expliziten und impliziten Flusskontrolle zusammen. • erschließen sich typische Probleme (zeitliche Analyse, Beobachtbarkeit, Synchronisation, Rangfolge) und Fehlerquellen bei der Programmierung von Echtzeitanwendungen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein, eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio 30-minütige mündliche Prüfung über den gesamten Stoff der Veranstaltung.

		Teilnahme an den Übungen und die Bearbeitung aller Übungsaufgaben wird hierzu dringend empfohlen!
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote wird durch eine 30-minütige mündliche Prüfung am Ende des Semesters festgelegt.
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 60 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Hermann Kopetz. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Kluwer Academic Publishers, 1997. • Jane W. S. Liu. Real-Time Systems. Prentice-Hall, Inc., 2000. • Wolfgang Schröder-Preikschat. Softwaresysteme 1. Vorlesungsfolien. 2006.

1	Module name 939179	Echtzeitsysteme 2 - Verlässliche Echtzeitsysteme Real-time systems 2 - dependable real-time systems	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Viele Echtzeitsysteme sind in Bereiche des täglichen Lebens eingebettete, die hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit dieser Systeme stellen. Beispiele hierfür sind Fahrerassistenzsysteme in modernen Automobilen, medizinische Geräte, Prozessanlagen in Kernkraftwerken oder Chemiefabriken oder Flugzeuge. Fehlfunktionen in diesen Anwendungen ziehen mitunter katastrophale Konsequenzen nach sich - Menschen können ernsthaft verletzt oder sogar getötet werden, Landstriche können unbewohnbar gemacht oder zumindest großer finanzieller Schaden verursacht werden. Dieses Modul betrachtet Methoden und Werkzeuge, die uns helfen können, einerseits *zuverlässig Software zu entwickeln* (also Fehler im Programm zu entdecken und zu vermeiden), und andererseits *zuverlässige Software zu entwickeln* (also Abstraktionen, die auch im Fehlerfall ihre Gültigkeit behalten). Hierbei steht weniger die Vermittlung theoretischer Grundkenntnisse auf diesen Gebieten im Vordergrund, also vielmehr • die praktische Anwendung existierende Werkzeuge und Methoden • sowie die Erfahrung und das Verständnis ihrer Grenzen. Auf diese Weise soll ein Fundament für die konstruktive Umsetzung verlässlicher Echtzeitsysteme gelegt werden. Dieses Modul soll daher fundierte Anknüpfungspunkte für die Entwicklung verlässlicher Echtzeitsysteme vermitteln, die Ad-hoc-Techniken möglichst ersetzen sollen.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • nennen die Konzepte und die Taxonomie verlässlicher Systeme, unterscheiden Software- und Hardwarefehler und klassifizieren Fehler (Defekt, Fehler, Fehlverhalten). • stellen Fehlerbäume auf. • organisieren Softwareentwicklungsprojekte mittels der Versionsverwaltung git. • vergleichen die verschiedenen Arten der Redundanz als Grundvoraussetzung für Fehlererkennung und -toleranz. • entwickeln fehlertolerante Systeme mittels Replikation. • diskutieren die Fehlerhypothese und die Sicherstellung von Replikdeterminismus. • erläutern die Vor- und Nachteile softwarebasierter Replikation und den Einsatz von Diversität. • wenden Informationsredundanz zur Härtung von Daten- und Kontrollflüssen an.

- bewerten die Effektivität der arithmetischer Codierung von Programmen und verallgemeinern diesen Ansatz auf die verschiedenen Implementierungsebenen (Maschinenprogramm zu Prozessinkarnation).
- interpretieren den Einfluss der Ausführungsplattform (Hardware, Betriebssystem) auf die Leistungsfähigkeit der Fehlererkennung.
- konzipieren eine fehlertolerante Ausführungsumgebung für ein softwarebasiertes TMR-System basierend auf ANBD-Codierung.
- nennen die Grundlagen der systematischen Fehlerinjektion.
- überprüfen die Wirksamkeit von Fehlertoleranzmechanismen mittels Fehlerinjektion auf der Befehlssatzebene.
- entwickeln Testfälle für die Fehlerinjektion mittels des fail** Werkzeugs.
- setzen Messergebnisse in Relation zu dem tatsächlichen Fehlerraum.
- beschreiben die Grundlagen der Fehlererholung (Vorwärts- bzw. Rückwärtskorrektur) und Reintegration fehlgeschlagener Knoten.
- vergleichen den Zustandstransfer am Beispiel der Running bzw. Recursive State Restoration.
- benennen Konzepte der Rückwärtskorrektur durch Entwurfalternativen (Recovery Blocks).
- fassen die Grundlagen des dynamischen Testens zusammen.
- unterscheiden Black-Box und White-Box Testverfahren.
- konzipieren und implementieren Testfälle.
- überprüfen die Testüberdeckung anhand grundlegender Überdeckungskriterien (Anweisungs- bis Bedingungsüberdeckung).
- geben die Grundlagen der statischen Programmanalyse wieder.
- nennen die Funktionsweise von Hoare- WP-Kalkül.
- verifizieren eine Ampelsteuerung mittels des FramaC Werkzeugs zur statischen Analyse von C Programmen.
- beschreiben den Korrektheitsnachweis mittels abstrakter Interpretation und unterscheiden die konkrete von der abstrakten Programmsemantik.
- erläutern die Funktionsweise von Sammel- und Präfixsemantiken.
- erstellen einen Korrektheitsbeweis für einen a-b-Filter mittels des Astrée Werkzeugs zur abstrakten Interpretation von C Programmen.
- bewerten die Verlässlichkeit kommerzieller, sicherheitskritischer Systeme anhand von Fallstudien (Sizewell B, Airbus A320).
- erschließen sich typische Probleme und Fehlerquellen bei der Programmierung von eingebetteten Systemen im Allgemeinen.

		• klassifizieren Fallstricke und Mehrdeutigkeiten in der Programmiersprache C99 im Besonderen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein. Weiterhin sind grundlegende Kenntnisse über Echtzeitsysteme eine, zum Beispiel durch den Besuch der Veranstaltung "Echtzeitsysteme", empfohlen. Eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang jedoch nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 47576	Enterprise Application Development und Evolutionäre Informationssysteme eBusiness technologies and evolutionary information systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Enterprise Application Development (ehemals eBusiness Technologies) (2 SWS) Vorlesung: Evolutionäre Informationssysteme (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Florian Irmert Nadja Deuerlein Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz
5	Contents	EAD Themen u.a. aus den folgenden Bereichen: • Softwareengineering wie z. B. Design Pattern • Softwarearchitektur wie z. B. Skalierbarkeit, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit • Web Frameworks wie z. B. React • User Experience und Usability wie z. B. UI Guidelines • Agile Softwareentwicklung wie z. B. Scrum • DevOps wie z. B. Continuous Integration EIS: • Grundlagen rechnergestützter Informationssysteme und organisatorisches Lernen • Erfolgsfaktoren für Projekte • Software Wartung vs. Software Evolution • Architekturmodelle • Grundprinzipien evolutionärer Systeme • Datenqualität in Informationssystemen
6	Learning objectives and skills	EAD: Die Studierenden • können einen Überblick über die Entwicklung von Web-Applikationen geben • wiederholen Grundlagen des Webs, von Datenaustauschformaten und serverseitige Technologien • unterscheiden Herangehensweisen zur dynamischen Generierung von Webseiten • wiederholen Grundlagen des SW-Engineerings • verstehen wichtige Design-Patterns • verstehen die Bedeutung von Software-Architektur • verstehen grundlegende Eigenschaften eines Web-Frameworks • können wichtige Zusammenhänge und Kriterien im Bereich UX erläutern • verstehen agile Vorgehensmodelle zur Software-Entwicklung • verstehen die Herausforderungen in Bezug auf den Betrieb von Anwendungen (DevOps)

EIS:

Die Studierenden:

- definieren die Begriffe "Informationssysteme", "evolutionäre Informationssysteme" und "organisatorisches Lernen"
- grenzen die Begriffe "Wissen" und "Information" gegeneinander ab
- charakterisieren die in der Vorlesung erläuterten Formen der organisatorischen Veränderung
- erklären das SEKI Modell nach Nonaka und Takeuchi
- nennen Beispiele für die in der Vorlesung behandelten Formen der Wissensrepräsentation in IT-Systemen
- nennen typische Erfolgs- und Risikofaktoren für große IT-Projekte
- erklären die Kraftfeldtheorie nach Kurt Lewin
- unterscheiden Typen von Software gemäß der Klassifikation nach Lehman und Belady
- unterscheiden die in der Vorlesung vorgestellten Arten der Software Wartung
- benennen die Gesetzmäßigkeiten der Software-Evolution nach Lehman und Belady
- bewerten die in der Vorlesung vorgestellten Vorgehensmodelle zur Softwareerstellung im Kontext der E-Typ-Software
- nennen die in der Vorlesung vorgestellten Aspekte der Evolutionsfähigkeit von Software
- erklären, wie die in der Vorlesung vorgestellten Methoden zur Trennung von Belangen beitragen
- erklären das Konzept des "Verzögerten Entwurfs"
- erklären die Vor- und Nachteile generischer Datenbankschemata am Beispiel von EAV und EAV/CR
- charakterisieren die in der Vorlesung vorgestellten Architekturkonzepte
- grenzen die in der Vorlesung vorgestellten Integrationsanforderungen gegeneinander ab
- erklären wie Standards zur Systemintegration beitragen und wo die Grenzen der Standardisierung liegen
- erklären das Prinzip eines Kommunikationsservers und der nachrichtenbasierten Integration
- erklären den Begriff "Prozessintegration"
- definieren den Begriff "Enterprise Application Integration" (EAI)
- unterscheiden die in der Vorlesung vorgestellten Integrationsansätze
- erklären die in der Vorlesung vorgestellten Dimensionen der Datenqualität
- unterscheiden die grundlegenden Messmethoden für Datenqualität
- erklären das Maßnahmenportfolio zur Verbesserung der Datenqualität nach Redman
- benennen die in der Vorlesung vorgestellten Methoden zur Verbesserung der Datenqualität

7	Prerequisites	Programmieren in Java, Datenbanken (SQL)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	
16	Bibliography	siehe Lehrveranstaltungsbeschreibungen

1	Module name 43822	Computer Graphics Computer graphics	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Marc Stamminger
5	Contents	Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Computergraphik: • Graphik Pipeline • Clipping • 3D Transformationen • Hierarchische Display Strukturen • Perspektive und Projektionen • Visibilitätsbetrachtungen • Rastergraphik und Scankonvertierung • Farbmodelle • Lokale und globale Beleuchtungsmodelle • Schattierungsverfahren • Ray Tracing und Radiosity • Schatten und Texturen Contents: This lecture covers the following aspects of Computer Graphics: • graphics pipeline • clipping • 3D transformations • hierarchical display structures • perspective transformations and projections • visibility determination • raster graphics and scan conversion • color models • local and global illumination models • shading models • ray tracing and radiosity • shadows and textures
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • geben die unterschiedlichen Schritte der Graphik Pipeline wieder • erklären die Funktionsweise der Clippingalgorithmen für Linien und Polygone • beschreiben, charakterisieren und berechnen affine und perspektivische Transformationen in 3D und veranschaulichen die allgemeine Form der Transformationsmatrix in homogener Koordinaten • skizzieren die Verfahren zur Tiefe- und Visibilitätsberechnung • vergleichen die unterschiedlichen Farbmodelle der Computergraphik

		• illustrieren und untersuchen die Datenstrukturen zur Beschreibung virtueller 3D Modelle und komplexer Szenen • erläutern die Funktionsweise der Rasterisierung und Scankonvertierung in der Graphikpipeline • lösen Aufgaben zu Beleuchtung und Texturierung von 3D virtuellen Modellen • klassifizieren Schattierungsverfahren • bestimmen den Unterschied zwischen lokaler und globaler Beleuchtung und formulieren Algorithmen für Ray Tracing und Radiosity *Educational objectives and skills:* Students should be able to • describe the processing steps in the graphics pipeline • explain clipping algorithms for lines and polygons • explain, characterize and compute affine and perspective transformations in 2D and 3D, and provide an intuitive description of the general form of corresponding transformation matrices in homogeneous coordinates • depict techniques to compute depth, occlusion and visibility • compare the different color models • describe data structures to represent 3D virtual models and complex scenes • explain the algorithms for rasterization and scan conversion • solve problems with shading and texturing of 3D virtual models • classify different shadowing techniques • explain the difference between local and global illumination techniques and formulate algorithms for ray tracing and radiosity
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Tutorial achievement Written examination (60 minutes) Die Übungen ("Computer Graphics Basic Tutorials") bestehen aus insgesamt 10 wöchentlichen Aufgabenblättern mit kleinen Programmieraufgaben. The exercises ("Computer Graphics Basic Tutorials") consist of weekly worksheets (10 worksheets in total) with small programming tasks.
11	Grading procedure	Tutorial achievement (pass/fail) Written examination (100%)

		Zum Bestehen des Moduls müssen 50% der Punkte in den Übungen erreicht und die Abschlussprüfung bestanden werden. Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Prüfung. The module is passed when 50% of the points in the exercises are reached and when the final exam is passed. The grade of the module is entirely determined by the grade in the final exam.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	• P. Shirley: Fundamentals of Computer Graphics. AK Peters Ltd., 2002 • Hearn, M. P. Baker: Computer Graphics with OpenGLD. Pearson • Foley, van Dam, Feiner, Hughes: Computer Graphics - Principles and Practice • Rauber: Algorithmen der Computergraphik • Bungartz, Griebel, Zenger: Einführung in die Computergraphik • Encarnação, Strasser, Klein: Computer Graphics

1	Module name 44362	Quality of Service of Communication Systems Quality of service in communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Quality of Service in Communications (2 SWS) Übung: Quality of Service in Communications (Ex-QoSic) (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Reinhard German Anna Arestova	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Zunächst wird der Begriff der Dienstgüte (Quality-of-Service, QoS) eingegrenzt und es werden die wichtigsten Ansätze zur Erzielung von Dienstgüte besprochen und in ausgewählten Netztechnologien untersucht. Dann werden unterschiedliche Methoden vorgestellt, mit denen Systeme bezüglich ihrer Dienstgüte bewertet und ausgelegt werden können: • Netzplanung und optimierung, • stochastische Analyse (Markow-Ketten, Warteschlangen), • Netzwerksimulation, • deterministische Analyse mit Network Calculus zur Ermittlung von Dienstgütegarantien • Messung (HW-, SW-, Hybrid-Monitoring, Benchmarks). Alle Methoden werden an Beispielen demonstriert. *Contents:* We introduce the term quality-of-service (QoS), discuss important approaches to achieve certain degrees of QoS, and show how the implementation in computer networks. Then a number of methodologies to assess and design systems with respect to their QoS: • network planning and optimization, • network simulation, • stochastic analysis (Markov chains, non-Markovian models, queuing systems), • deterministic analysis with network calculus to determine QoS guarantees • measurements (hardware, software, and hybrid monitoring, benchmarks). All methods are illustrated by examples.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erwerben • Kenntnisse in Methoden zur Modellierung und Bewertung von quantitativen, nicht-funktionalen Eigenschaften von vernetzten Systemen • Kenntnisse in Mechanismen von vernetzten Systemen zur Erzielung von Dienstgüte *Learning targets and competences:* The students get • experience in methods to model and evaluate quantitative, non-functional properties of computer networks and related systems

		knowledge of mechanisms of computer networks to achieve quality-of-service
7	Prerequisites	Rechnerkommunikation, Kommunikationssysteme, grundlegende Programmierkenntnisse (optimal in R und C++)
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	- Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet. 6th Ed., Addison Wesley, 2013 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pearson Education, 2016

1	Module name 43374	Computer Graphics Deluxe	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Marc Stamminger
5	Contents	Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Computergraphik: • Graphik Pipeline • Clipping • 3D Transformationen • Hierarchische Display Strukturen • Perspektive und Projektionen • Visibilitätsbetrachtungen • Rastergraphik und Scankonvertierung • Farbmodelle • Lokale und globale Beleuchtungsmodelle • Schattierungsverfahren • Ray Tracing und Radiosity • Schatten und Texturen Contents: This lecture covers the following aspects of Computer Graphics: • graphics pipeline • clipping • 3D transformations • hierarchical display structures • perspective transformations and projections • visibility determination • raster graphics and scan conversion • color models • local and global illumination models • shading models • ray tracing and radiosity • shadows and textures
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • geben die unterschiedlichen Schritte der Graphik Pipeline wieder • erklären die Funktionsweise der Clippingalgorithmen für Linien und Polygone • beschreiben, charakterisieren und berechnen affine und perspektivische Transformationen in 3D und veranschaulichen die allgemeine Form der Transformationsmatrix in homogener Koordinaten • skizzieren die Verfahren zur Tiefe- und Visibilitätsberechnung • vergleichen die unterschiedlichen Farbmodelle der Computergraphik

		• illustrieren und untersuchen die Datenstrukturen zur Beschreibung virtueller 3D Modelle und komplexer Szenen • erläutern die Funktionsweise der Rasterisierung und Scankonvertierung in der Graphikpipeline • implementieren 3D Transformationen mithilfe der Programmiersprache C++ und der graphischen Bibliothek OpenGL • Implementieren Beleuchtungsmodelle und Texturierung von virtuellen 3D Objekten mithilfe der Programmiersprachen OpenGL und GLSL • lösen Aufgaben zu Beleuchtung und Texturierung von 3D virtuellen Modellen • klassifizieren Schattierungsverfahren • bestimmen den Unterschied zwischen lokaler und globaler Beleuchtung und formulieren Algorithmen für Ray Tracing und Radiosity *Educational objectives and skills:* Students should be able to • describe the processing steps in the graphics pipeline • explain clipping algorithms for lines and polygons • explain, characterize and compute affine and perspective transformations in 2D and 3D, and provide an intuitive description of the general form of corresponding transformation matrices in homogeneous coordinates • depict techniques to compute depth, occlusion and visibility • compare the different color models • describe data structures to represent 3D virtual models and complex scenes • explain the algorithms for rasterization and scan conversion • solve problems with shading and texturing of 3D virtual models • classify different shadowing techniques • explain the difference between local and global illumination techniques and formulate algorithms for ray tracing and radiosity
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Sowohl die Computer Graphics Basic Tutorials als auch die Computer Graphics Advanced Tutorials bestehen aus 10 wöchentlichen Aufgabenblättern mit kleinen Programmieraufgaben.
10	Method of examination	Tutorial achievement Tutorial achievement

		Written examination (60 minutes) Zum Bestehen des Moduls müssen 50% der Punkte in den Übungen erreicht und die Prüfung bestanden werden. Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Tutorial achievement (pass/fail) Tutorial achievement (pass/fail) Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• P. Shirley: Fundamentals of Computer Graphics. AK Peters Ltd., 2002 • Hearn, M. P. Baker: Computer Graphics with OpenGL. Pearson • Foley, van Dam, Feiner, Hughes: Computer Graphics - Principles and Practice • Rauber: Algorithmen der Computergraphik • Bungartz, Griebel, Zenger: Einführung in die Computergraphik • Encarnaç�o, Strasser, Klein: Computer Graphics

Elective modules from EEI and Computer Science

1	Module name 43961	Knowledge Discovery in Databases mit Übung Knowledge discovery in databases with tutorial	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Knowledge Discovery in Databases (2 SWS) Übung: Übungen zu KDD (2 SWS) Übung: Übungen zu KDD (Parallelgruppe wird nicht sicher angeboten) (2 SWS)	- - -
3	Lecturers	Dominik Probst Lucas Weber	

4	Module coordinator	Dominik Probst
5	Contents	Theoretical knowledge on: • Why data mining? • What is data mining? • A multi-dimensional view of data mining • What kinds of data can be mined? • What kinds of patterns can be mined? • What technologies are used? • What kinds of applications are targeted? • Major issues in data mining • A brief history of data mining Practical exercises on: • Introduction to Pandas & scikit-learn • Data analysis & data preprocessing • Frequent Pattern • Classification • Clustering • Outlier
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • kennen den typischen KDD-Prozess; • kennen Verfahren zur Vorbereitung von Daten für das Data Mining; • definieren Distanz- oder Ähnlichkeits-Funktionen auf einem speziellen Datenbestand; • überprüfen Attribute eines Datensatzes auf ihre Bedeutung für die Analyse hin und transformieren ggf. Attributwerte geeignet; • wissen, wie ein typisches Data Warehouse aufgebaut ist; • kennen die Definition von Distanz- bzw. Ähnlichkeitsfunktionen für die verschiedenen Typen von Attributen; • sind vertraut mit dem Prinzip des Apriori-Algorithmus zur Bestimmung von Mengen häufiger Elemente (frequent itemsets); • kennen den FP-Growth-Algorithmus zum schnellen Auffinden von Mengen häufiger Elemente; • geben die Definitionen von Support und Confidence für Assoziationsregeln wieder; • beschreiben die Ermittlung von Assoziationsregeln auf der Basis von Mengen häufiger Elemente;

		• sind in der Lage, die Vorgehensweise bei Klassifikationsaufgaben darzustellen; • legen dar, wie ein Entscheidungsbaum auf einem Trainingsdatensatz erzeugt wird; • stellen das Prinzip der Bayes'schen Klassifikation dar; • zählen verschiedene Clustering-Verfahren auf; • beschreiben den Ablauf von k-Means-Clustering; • kennen die verschiedenen Arten von Ausreißern; • können die verschiedenen Schritte eines KDD Prozesses auch praktisch anwenden. The students: • know the typical KDD process; • know procedures for the preparation of data for data mining; • know the definition of distance or similarity functions for the different kinds of attributes; • define distance and similarity functions for a particular dataset; • check attributes of a dataset for their meaning with reference to an analysis and transform attribute values accordingly, if required. • know how a typical data warehouse is structured; • are familiar with the principle of the Apriori algorithm for the identification of frequent itemsets; • know the FP-growth algorithm for a faster identification of frequent itemsets; • present the definitions of support and confidence for association rules; • describe the construction of association rules based on frequent itemsets; • are capable of describing the course of action in classification tasks; • present the construction of a decision tree based on a training dataset; • present the principle of Bayes' classification; • enumerate different clustering procedures; • describe the steps of k-means clustering; • know the different kinds of outliers; • are able to practically apply the various steps of a KDD process.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination with multiple choice (90 minutes)

11	Grading procedure	Written examination with multiple choice (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	The lecture is based on the following book: • J. Han, M. Kamber, and J. Pei, Data Mining: Concepts and Techniques, 3rd. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011, ISBN: 0123814790 Also interesting and related textbooks are: • A. Géron, Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow : concepts, tools, and techniques to build intelligent systems, 2nd ed. O'Reilly Media, 2017, ISBN: 978-1491962299 • H. Du, Data Mining Techniques and Applications: An Introduction. Cengage Learning EMEA, May 2010, p. 336, ISBN: 978-1844808915 • I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall, et al., Data Mining, Fourth Edition: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 4th. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2016, ISBN: 0128042915

1	Module name 47800	Digital Communications Digital communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci
5	Contents	Alle modernen Kommunikationssysteme basieren auf digitalen Übertragungsverfahren. Diese Vorlesung befasst sich mit den Grundlagen der Analyse und des Entwurfs digitaler Sender und Empfänger. Dabei wird zunächst von einem einfachen Kanalmodell bei dem das Empfangssignal nur durch additives weißes Gaußsches Rauschen gestört wird ausgegangen. Im Verlauf der Vorlesung werden aber auch Kanäle mit unbekannter Phase sowie verzerrende Kanäle betrachtet. Behandelt werden unter anderem digitale Modulationsverfahren (z.B. Pulsamplitudenmodulation (PAM), digitale Frequenzmodulation (FSK), und Kontinuierliche-Phasenmodulation (CPM)), Orthogonalkonstellationen, das Nyquistkriterium in Zeit- und Frequenzbereich, optimale kohärente und inkohärente Detektions- und Decodierungsverfahren, die Signalraumdarstellung digital modulierter Signale, verschiedene Entzerrungsverfahren, und Mehrträger-Übertragungsverfahren. --- Modern communication systems are based on digital transmission methods. This course covers basics of analysis and design of digital transmitters and receivers. Initially, we consider a simple channel model whose received signal is impaired only by additive white Gaussian noise. Then, we extend fundamental concepts to channels with unknown phases and distortion. Additionally, we treat digital modulation techniques, e.g., pulse amplitude modulation (PAM), digital frequency modulation (FSK) and continuous-phase modulation (CPM), and orthogonal constellations. The Nyquist criterion in time and frequency domain, optimal coherent and incoherent detection and decoding methods, signal space representations of digitally modulated signals, various equalization methods, and multicarrier transmission methods are also discussed.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • analysieren und klassifizieren digitale Modulationsverfahren hinsichtlich ihrer Leistungs- und Bandbreiteneffizienz sowie ihres Spitzenwertfaktors, • ermitteln notwendige Kriterien für impulsinterferenzfreie Übertragung, • charakterisieren digitale Modulationsverfahren im Signalraum, • ermitteln informationsverlustfreie Demodulationsverfahren, • entwerfen optimale kohärente und inkohärente Detektions- und Decodierungsverfahren,

		• vergleichen verschiedene Entzerrungsverfahren hinsichtlich deren Leistungsfähigkeit und Komplexität, • entwerfen einfache digitale Übertragungssysteme mit vorgeschriebenen Leistungs- und Bandbreiteneffizienzen sowie Spitzenwertfaktoren. • -- The students • analyze and classify digital modulation techniques in terms of performance and bandwidth efficiency as well as crest factor, • determine necessary criteria to design impulses for interference-free transmission, • characterize digital modulation methods in signal space, • determine information loss-free demodulation methods, • design optimal coherent and incoherent detection and decoding methods, • compare different equalization methods in terms of performance and complexity, • design simple digital transmission systems with prescribed power and bandwidth efficiency and crest factor.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 43722	Scientific Visualization Scientific visualization	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Tutorials to Scientific Visualization (2 SWS) Vorlesung: Scientific Visualization (2 SWS)	0 ECTS 5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Tobias Günther Xingze Tian	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Tobias Günther
5	Contents	The amount of data, generated in the pursuit of scientific discovery, keeps rapidly increasing across all major scientific disciplines. How can we make sense of large, time-dependent, high-dimensional and multi-variate data? This lecture provides an introduction into scientific visualization. Throughout the course, we cover the fundamental perception basics needed to convey information accurately. After categorizing different data types based on their dimensionality, we dive deeper into specific techniques for scalar, vector and tensor valued data. The lecture covers the following topics: • visualization design basics (data abstraction, visual encoding of information), • a review of scalar and vector calculus (differential properties, extremal and critical points), • data structures and data acquisition techniques (grids, interpolation, and differentiation), • indirect volume visualization (marching cubes and contour trees), • direct volume visualization (ray marching and Monte Carlo rendering), • elementary and line-based flow visualization (numerical integration, seeding, rendering), • surface-based flow visualization (integration, selection, rendering), • topology-based flow visualization (topological skeleton, bifurcations, feature flow fields), • feature-based flow visualization (vortices, material boundaries, Lagrangian coherent structures), • advanced methods (tensor visualization, uncertainty, ensembles)
6	Learning objectives and skills	Students are able to: • use perception basics to select appropriate visualization methods • classify data and select appropriate visualization techniques • calculate differential properties of scalar and vector fields • identify features in scalar and vector-valued data • implement numerical extraction algorithms • learn the advantages and disadvantages of common visualization techniques

7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Electronic exam in presence with multiple choice questions (90 minutes)
11	Grading procedure	Variable (100%) The final grade of the module is determined by the exam. Exercise bonus: Obtaining more than 80% of the points across all theoretical exercises awards an exam bonus of a third grade.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96312	Bild-, Video- und mehrdimensionale Signalverarbeitung Image, video and multidimensional signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	• ◦ Histogrammausgleich, Gamma-Korrektur • ◦ Morphologische Filter, Erosion, Dilatation, Opening, Closing • ◦ Trichromat, RGB- Farbraum, HSV-Farbraum • ◦ Theorie mehrdimensionaler Signale und Systeme, Impulsantwort, lineare Bildfilterung, Leistungsspektrum, Wiener Filter • ◦ Bilineare Interpolation, Bicubische Interpolation, Spline Interpolation • ◦ Bildmerkmale, Kantendetektion, Hough Transformation, Harris Ecken Detektor, Texturmerkmale, Grauwertematrix • ◦ LoG, DoG, SIFT, SURF • ◦ Projektive Abbildungen, Blockabgleich, Optischer Fluss, Merkmalsbasierter Abgleich mittels SIFT und SURF, RANSAC • ◦ Amplituden Schwellenwertermittlung, K-Means Clustering, Bayes Klassifikation, Regionen-basierte Segmentierung, kombinierte Segmentierung und Bewegungsschätzung, zeitliche Segmentierung von Videos • ◦ Unitäre Transformation, Karhunen-Loeve Transformation, separable Transformationen, Haar und Hadamard Transformation, DFT, DCT
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen Punktoperationen an Bilddaten und Gamma-Korrektur • testen die Wirkung von Rangordnungs- und Medianfiltern an Bilddaten • unterscheiden und bewerten verschiedene Farbräume für Bilddaten

		• erklären das Prinzip der zwei-dimensionalen linearen Filterung für Bildsignale • berechnen und bewerten die zweidimensionale diskrete Fourier-Transformierte eines Bildsignales • bestimmen vergrößerte diskrete Bildsignale mit Methoden der bilinearen und Spline-Interpolation • überprüfen Bilddaten auf ausgewählte Textur-, Kanten- und Bewegungsmerkmale • analysieren Bild- und Videodaten auf Merkmale in unterschiedlichen Scale-Spaces • erläutern und beurteilen Methoden für das Matching von Bilddaten • segmentieren Bilddaten durch Programmierung von einfachen Klassifikations- oder Clustering-Verfahren • verstehen das Prinzip von Transformation auf Bilddaten und können diese an Beispielen anwenden.
7	Prerequisites	Vorlesung Signale und Systeme I und II empfohlen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• J.-R. Ohm: [Multimedia Content Analysis], Springer, 2016 • J. W. Woods: [Multidimensional Signal, Image, and Video Processing and Coding], Academic Press, second edition, 2012

1	Module name 92730	Kommunikationselektronik Communications electronics 1	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Kommunikationselektronik (2 SWS) Vorlesung: Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS) Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (2 SWS) Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS)	5 ECTS 5 ECTS - -
3	Lecturers	Sebastian Klob Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert Marcelo Michael	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert
5	Contents	1. Einleitung 2. Darstellung von Signalen und Spektren • Kontinuierliche und diskrete Signale • Spektrum eines Signals • Unterabtastung und Überabtastung 3. Aufbau und Signale eines Software Defined Radio Systems • Blockschaltbild eines Software Defined Radio Systems • Basisband- und Trägersignale • Empfänger-Topologien • Signale in einem Software Defined Radio System 4. Drahtlose Netzwerke 5. Übertragungsstrecke • Funkstrecke • Antennen 6. Leistungsdaten eines Empfängers • Rauschen • Nichtlinearität • Dynamikbereich eines Empfängers 7. Digital Downconverter • CIC-Filter • Polyphasen-FIR-Filter • Halbband-Filterkaskade • Interpolation 8. Demodulation digital modulierter Signale • Einführung • Demodulation einer GFSK/PAM-Paketsendung Das Modul Kommunikationselektronik behandelt Aspekte der Schaltungstechnik und der Signalverarbeitung drahtloser Übertragungssysteme, die als sog. "Software Defined Radio" Systeme aufgebaut sind. Als Beispiel dient der Empfänger eines einfachen Telemetrie-Systems, der von der Antenne bis zum Nutzdatenausgang behandelt wird. Schwerpunkte bilden der Aufbau und die Eigenschaften der Hardware des Empfängers sowie die Algorithmen zum Empfang von Telemetrie-Signalen. Dabei wird ein typisches System mit Hilfe eines miniaturisierten Empfängers und einer Verarbeitung mit dem MATLAB-

		kompatiblen Mathematikprogramm Octave implementiert. Die benötigte Software wird den Studierenden zur Verfügung gestellt. Content: 1. Introduction 2. Signal representation and discrete signals a. Continuous and discrete signals b. Signal spectrum c. Downsampling and upsampling 3. Structure and signals of a Software Defined Radio a. Block diagram of a Software Defined Radio b. Base band signals and carrier signals c. Receiver topologies d. Signals in a Software Defined Radio 4. Wireless networks 5. Transmission path a. Radio link b. Antennas 6. Performance data of a receiver a. Noise b. Nonlinearities c. Dynamic range of a receiver 7. Digital Down Converter a. CIC filter b. Polyphase FIR filter c. Halfband filter cascade d. Interpolation 8. Demodulation of digital modulated signals a. Introduction b. Demodulation of a GFSK/PAM packet transmission The module Communication Electronics deals with aspects of circuitry and signal processing of wireless communication systems, built up as so-called "Software Defined Radio systems. A receiver of a simple telemetry system serves as an example, being examined starting from its antenna to the user data output. The focus lies on the structure and the characteristic of the receivers hardware as well as the algorithms for the reception of telemetry signals. A typical system is implemented using a miniaturized receiver and processing with the MATLAB-compatible Octave math program. The required software is provided to the students.
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden verstehen die grundlegende Funktionsweise eines Software Defined Radio (SDR) Systems, d.h. sie verstehen die Funktionsweise der einzelnen Signalverarbeitungsschritte sowie die auftretenden Signale selbst. 2. Die Studierenden analysieren die Leistungsfähigkeit der analogen Komponenten eines SDR Systems und können Verfahren zur Optimierung dieser Komponenten selbständig anwenden.

		3. Die Studierenden analysieren die digitalen Verarbeitungsschritte ausgewählter Modulationsarten und können damit selbst die digitale Signalverarbeitung eines SDR Senders und Empfängers erschaffen. 1. The students will understand the basic operation of a Software Defined Radio (SDR) system, i.e. the students will understand how the individual signal processing steps work as well as the signals themselves. 2. The students analyze the performance of the analog components of an SDR system and are able to apply procedures for optimizing these components independently. 3. The students analyse the digital processing steps of selected modulation types and are able to create the digital signal processing of an SDR transmitter and receiver themselves.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, grundlegende Kenntnisse im Bereich digitaler Signalverarbeitung werden vorausgesetzt
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Veranstaltung im StudON verfügbar: https://www.studon.fau.de/studon/goto.php?target=crs_117973

1	Module name 96801	Kommunikationsstrukturen Communication structures	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Jürgen Frickel
5	Contents	Einführung • Information und Kommunikation • Anwendungsgebiete - Kommunikation Strukturen und Eigenschaften von Kommunikationssystemen • Grundlegende Definitionen und Klassifikationen • Grundlegende Strukturen Protokolle und Schnittstellen • Grundlagen • Basis-Verfahren und Beispiele • TCP/IP-Protokol • Referenzmodell nach ISO/OSI • Sicherungsschicht/Data Link Layer (LLC und MAC) • Bitübertragungsschicht/Physical Layer • Übertragungsmedien Hardware in Kommunikationsstrukturen • HW-Architekturen und Funktionsblöcke • Digitale und Analoge Komponenten • Schaltungsdetails von Komponenten Grundlagen von Bussystemen • Klassifikation • Funktionale Eigenschaften • Arbitrierungs-Verfahren Leitungsgebundene Anwendungen für Rechnersysteme • Bus-Applikationen • Baustein-/IC-interne Busse (AMBA, FPI, ConTraBus, .) • Baugruppeninterne Busse (I2C, Chipsätze+Bridges, .) • Busse für Rechensysteme (VME, ISA, PCI, PCIe, AGP, .) • Peripherie-Busse (ATA, IEC, USB, Firewire, Fibre Channel, Thunderbolt .) Leitungsgebundene Anwendungen in Systemen • Feldkommunikation • Automobil, Luftfahrt, Space (CAN, MOST, LIN, MILBus, Spacewire .) • Industrie, Haustechnik (Profibus, EIB, .) • Weitverkehrsnetze • SDH, PDH, ATM,
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden werden in die Lage versetzt die Konzepte und Verfahren vor allem drahtgebundener Kommunikationssysteme anzuwenden.

		2. Die Studierenden lernen die Funktionsweise und den Einsatzzweck diverser Kommunikationsprotokolle zu verstehen, und miteinander zu vergleichen. 3. Desweiteren analysieren und klassifizieren Sie grundlegende Strukturen von leitungsgebundenen Kommunikationssystemen anhand ihrer funktionalen Eigenschaften.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written Klausur, 90min
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96030	Medizinelektronik Medical electronics	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Medizinelektronik - Übung / Medical Electronics Exercises (2 SWS) Vorlesung: Medizinelektronik - Medical Electronics (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Ouadie Touijer Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	The Lecture and exercise deals with the following topics: • Electronics for medical diagnostics and therapy • Challenges for medical engineering from demographic development and epidemiology of common diseases • Concepts for chronic disease management and elderly care • Regulatory framework of circuit design for medical devices • Circuit design of standard medical equipment ECG, EEG, EMG, SpO2 • Sensor principles and circuit design for biosignal acquisition • Analog-digital balance • Energy management for medical devices • Body near energy harvesting • Health data transmission • Electronic systems for ambient assisted living (AAL) • Circuit technology for lab-on-chip and microelectromechanical systems (MEMS) • Circuit technology for implants and wearable systems
6	Learning objectives and skills	Students will gain • Substantial knowledge on principles of circuit design for medical electronic devices • Substantial knowledge on circuit design for standard medical devices, e.g. ECG, EEG, EMG • Substantial knowledge on design of medical sensors • Substantial knowledge on system design for health assistance systems, wearable medical devices and implants • Ability to analyze circuit diagrams of medical electronic devices • Ability to separate medical electronic devices into their subfunctions • Ability to analyze energy budget of medical devices, particularly wearable systems • Basic ability to design electronic circuits to comply with regulatory requirements
7	Prerequisites	Completion of the modules "Circuit design" ("Schaltungstechnik") or "Electronics and circuit design" ("Elektronik und Schaltungstechnik") is recommended before attending the course.
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination
11	Grading procedure	Electronic examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96300	MIMO Communication Systems MIMO communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: MIMO Communication Systems (3 SWS) Übung: MIMO Communication Systems - Tutorial (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Hedieh Ajam Prof. Dr.-Ing. Robert Schober	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Schober
5	Contents	Modern communication systems employ multiple antennas at the transmitter and/or receiver creating a multiple-input multiple-output (MIMO) system. This course covers the fundamental mathematical and communication theoretical concepts necessary for the design and analysis of MIMO communication systems. Relevant topics include MIMO Channel Capacity, Receive Diversity, Transmit Diversity, Space-Time Coding, Spatial Multiplexing, MIMO Transceiver Design, Multi-user MIMO, Massive MIMO, Relay-based MIMO, and applications in modern communication systems.
6	Learning objectives and skills	The students • learn about different MIMO channel models, • analyze MIMO communication systems with respect to their channel capacity and reliability, • determine MIMO figures of merit such as coding gain, diversity gain, and multiplexing gain, • compare and evaluate different MIMO receiver designs, • characterize the rate region of multiuser systems, • analyze massive MIMO systems, • discuss the advantages and disadvantages of different relay network architectures. Die Studierenden • lernen verschiedene MIMO-Kanalmodelle kennen, • analysieren MIMO-Kommunikationssysteme hinsichtlich der Kanalkapazität und Zuverlässigkeit, • ermitteln MIMO-Kenngrößen wie Codierungsgewinn, Diversitätsgewinn und Multiplexgewinn, • vergleichen und beurteilen verschiedene MIMO-Empfangsstrategien, • charakterisieren die Ratenregion von Mehrteilnehmersystemen, • analysieren Massive-MIMO-Systeme, • diskutieren die Vor- und Nachteile verschiedener Relaisnetzwerkarchitekturen.
7	Prerequisites	Basic course in communications
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Written exam (Klausur), 90 minutes.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96316	Radar, RFID and Wireless Sensor Systems (RWS) Radar, RFID and wireless sensor systems (RWS)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Radar, RFID and Wireless Sensor Systems Exercises (2 SWS) Vorlesung: Radar, RFID and Wireless Sensor Systems (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Christian Carlowitz Prof. Dr.-Ing. Martin Vossiek	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Martin Vossiek
5	Contents	Radar, RFID and wireless sensor and wireless locating systems are essential for automotive advanced driver-assistance systems (ADAS), autonomous driving and flying, robotics, industrial automation, logistics and novel human machine interfaces. Further key areas include medical electronics, building technology and cyber-physical systems. The module "Radar, RFID and Wireless Sensors" is an introduction into functional principles, building blocks, hardware and signal processing concepts and applications of modern radar, RFID, wireless sensor and real time locating systems. Covered applications include automotive radar, road and air traffic control systems, as well as robotics, industrial automation and medical technology. RWS is an identical replacement of the former module "Drahtlose Sensoren, Radar- und RFID-Systeme DSR.
6	Learning objectives and skills	The students • learn about the setup, function and application of wireless sensors, Radar and RFID-systems • can analyze, discuss and implement basic components and system structures, signal theory, data processing and use cases • can determine the underlying physical limitations and sources of errors • are able to analyze and create system specifications and can compare and rate the usability of wireless esnsors, Radar and RFID-systems • can create and define independently applications and system designs of RWSs
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (90 minutes)
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Sensors for Ranging and Imaging", Graham Brooker, Scitech Publishing Inc., 2009 Radar mit realer und synthetischer Apertur", H. Klausing, W. Holpp, Oldenbourg, 1999 Praxiswissen Radar und Radarsignalverarbeitung" Albrecht K. Ludloff, 2008 "RFID at ultra and super high frequencies: theory and application Dominique Paret, John Wiley & Sons, 2009. RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC", Klaus Finkenzeller, Carl Hanser Verlag, 6. Auflage 2012.

1	Module name 92650	Regelungstechnik A (Grundlagen) Control engineering A (Foundations)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen
5	Contents	Das Modul behandelt die Grundlagen der Regelungstechnik und befähigt zur Beschreibung und Untersuchung linearer Systeme und zum Entwurf einfacher und mehrschleifiger Regler im Frequenzbereich. Die Inhalte sind: • Gegenstand und Zielstellung der Regelungstechnik • Modellbildung der Strecke im Zeit und Frequenzbereich und Darstellung als Strukturbild • Analyse des Streckenverhaltens linearer Eingrößensysteme anhand von Übertragungsfunktion und Frequenzgang • Auslegung einschleifiger Regelkreise • Erweiterte Regelkreisstrukturen
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden können • Gegenstand und Zielstellung der Regelungstechnik erläutern. • Problemstellungen als Steuerungs- und Regelungsaufgabe identifizieren. • das Streckenverhalten durch ein mathematisches Modell in Form des Strukturbilds beschreiben. • eine Modellvereinfachung durch Linearisierung und Strukturbildumformung durchführen. • aus Übertragungsfunktion und Frequenzgang das qualitative Streckenverhalten ermitteln. • zu einem Frequenzgang Ortskurve und Bode-Diagramm angeben. • den Aufbau einer Zwei-Freiheitsgrade-Regelung angeben und die Zweckbestimmung von Vorsteuerung und Regelung erläutern. • Sollverläufe auf Zulässigkeit überprüfen und realisierbare Vorsteuerungen entwerfen. • die Regelkreis-Stabilität definieren und mit dem Nyquist-Kriterium untersuchen. • entscheiden, wann welcher Reglertyp in Frage kommt und nach welchen Gesichtspunkten dessen Parameter zu wählen sind. • für lineare Eingrößensysteme einen geeigneten Regler entwerfen. • ergänzende Maßnahmen zur Störverhaltensverbesserung beschreiben und zur Anwendung bringen. • die Vorlesungsinhalte auf verwandte Problemstellungen übertragen und sich weiterführende

		Frequenzbereichsmethoden der Regelungstechnik selbständig erschließen.
7	Prerequisites	Empfohlene Vorkenntnisse: Systemtheorie linearer zeitkontinuierlicher Systeme (inkl. Laplace-Transformation)
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Die Summe der in den Online-Tests erzielten Punktzahl wird zu max. 10% auf die Klausurpunktzahl angerechnet. Hiermit ist eine Verbesserung der Klausurbewertung um bis zu 0,7 Notenpunkte möglich. Die Anrechnung erfolgt nur, wenn Sie die Prüfung an sich mit der Mindestnote 4,0 bestanden haben. Der Bonus kann nur einmal im Prüfungszeitraum der Vorlesung angerechnet werden, entweder zum Haupttermin nach Vorlesungsende oder zum Nachholtermin im Folgesemester, wenn der Haupttermin nicht wahrgenommen wurde.
11	Grading procedure	Written examination (100%) Die Summe der in den Online-Tests erzielten Punktzahl wird zu max. 10% auf die Klausurpunktzahl angerechnet. Hiermit ist eine Verbesserung der Klausurbewertung um bis zu 0,7 Notenpunkte möglich. Die Anrechnung erfolgt nur, wenn Sie die Prüfung an sich mit der Mindestnote 4,0 bestanden haben. Der Bonus kann nur einmal im Prüfungszeitraum der Vorlesung angerechnet werden, entweder zum Haupttermin nach Vorlesungsende oder zum Nachholtermin im Folgesemester, wenn der Haupttermin nicht wahrgenommen wurde.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• O. Föllinger. Regelungstechnik: Einführung in die Methoden und ihre Anwendung, 12. Auflage, VDE-Verlag, 2016 • M. Horn, N. Dourdoumas. Regelungstechnik, Pearson Studium, 2004 • W. Leonhard. Einführung in die Regelungstechnik, 4. Auflage, Vieweg, 1987 • J. Lunze. Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen, 12. Auflage, Springer, 2020 • R. Unbehauen. Regelungstechnik 1, 12. Auflage, 2002 • G. Ludyk. Theoretische Regelungstechnik 1 und 2, Springer, 1995

1	Module name 462793	Virtuelle Maschinen (Vorlesung mit Übung und Laborübung) Lecture, tutorial and laboratory: Virtual machines	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Volkmar Sieh
5	Contents	Vorgestellt werden verschiedene Virtualisierungs-Ansätze: • Emulation • Just-In-Time-Compiler • Para-Virtualisierung • Bibliotheks-basierte Virtualisierung • OS-Virtualisierung
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • erläutern verschiedene Motivationen für den Einsatz von VMs • unterscheiden verschiedene VMs • klassifizieren verschiedene Ziele unterschiedlicher VMs (z.B. Performance, Konfigurierbarkeit, Genauigkeit, ...) • hinterfragen verschiedene Simulationansätze für MMUs • erstellen virtuelle Komponenten und Busse • strukturieren Callbacks und entsprechendes Forwarding und Caching • unterscheiden zwischen Architektur, Chip und Komponente • klassifizieren unterschiedliche Just-In-Time-Compiler-Ansätze • erzeugen JIT Code aus vorgefertigten Code-Teilen • bewerten unterschiedliche JIT-Code-Optimierungen • erläutern Probleme bei der JIT-Code-Invalidierung • nennen JIT Probleme mit Exceptions/Interrupts sowie berechnete Sprünge und Return-Instruktionen • unterscheiden verschiedene JIT Cache-Verwaltungen • beschreiben Möglichkeiten der Fehlerinjektion durch VMs • entwickeln ein an JIT angepasstes virtuelles "Hardware"-Design • erläutern die Java-VM Instruktionssatz-Architektur • nutzen Hardware-basierte Virtualisierung • entwickeln Verfahren zum Ausfiltern bestimmter Befehle • erläutern Probleme der Speicherverwaltung bei HW-basierter Virtualisierung • nutzen User-Mode-Emulation zur Paravirtualisierung • diskutieren Möglichkeiten von Debuggern für die Umleitung von System-Calls und die Ausfilterung von Befehlen • nutzen einen Hypervisor zur Paravirtualisierung • unterscheiden verschiedene Ansätze zur Geräteverwaltung in paravirtualisierten Systemen • erläutern Betriebssystem-basierte Virtualisierung

		• entwickeln unterschiedliche Bibliotheks-basierte Virtualisierungen • erläutern Probleme beim Speicher-Layout bei Bibliotheks-basierte Virtualisierung • konzipieren Personalities für Bibliotheks-basierte Virtualisierungen • beurteilen Probleme bei der korrekten Zeit-Simulation • nennen Ideen für die dynamische Anpassung der Zeit-Simulation • klassifizieren bekannte VMs (z.B. VICE, FAUmachine, QEMU, Bochs, JVM, KVM, User-Mode-Linux, Xen, VServer, Wine) • diskutieren in der Gruppe Vor- und Nachteile von bestimmten VM-Ansätzen • entwickeln selbst CPU-Emulationen • entwickeln selbst Geräte-Emulationen • verteilen Implementierungsaufgaben in ihrer Gruppe • erstellen Zeitpläne für Implementierungen für sich und ihre Gruppe
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 202041	Virtuelle Maschinen (Vorlesung mit Übungen) Lecture and tutorial: Virtual machines	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Volkmar Sieh
5	Contents	Vorgestellt werden verschiedene Virtualisierungs-Ansätze: • Emulation • Just-In-Time-Compiler • Para-Virtualisierung • Bibliotheks-basierte Virtualisierung • OS-Virtualisierung
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • erläutern verschiedene Motivationen für den Einsatz von VMs • unterscheiden verschiedene VMs • klassifizieren verschiedene Ziele unterschiedlicher VMs (z.B. Performance, Konfigurierbarkeit, Genauigkeit, ...) • hinterfragen verschiedene Simulationansätze für MMUs • erstellen virtuelle Komponenten und Busse • strukturieren Callbacks und entsprechendes Forwarding und Caching • unterscheiden zwischen Architektur, Chip und Komponente • klassifizieren unterschiedliche Just-In-Time-Compiler-Ansätze • erzeugen JIT Code aus vorgefertigten Code-Teilen • bewerten unterschiedliche JIT-Code-Optimierungen • erläutern Probleme bei der JIT-Code-Invalidierung • nennen JIT Probleme mit Exceptions/Interrupts sowie berechnete Sprünge und Return-Instruktionen • unterscheiden verschiedene JIT Cache-Verwaltungen • beschreiben Möglichkeiten der Fehlerinjektion durch VMs • entwickeln ein an JIT angepasstes virtuelles "Hardware"-Design • erläutern die Java-VM Instruktionssatz-Architektur • nutzen Hardware-basierte Virtualisierung • entwickeln Verfahren zum Ausfiltern bestimmter Befehle • erläutern Probleme der Speicherverwaltung bei HW-basierter Virtualisierung • nutzen User-Mode-Emulation zur Paravirtualisierung • diskutieren Möglichkeiten von Debuggern für die Umleitung von System-Calls und die Ausfilterung von Befehlen • nutzen einen Hypervisor zur Paravirtualisierung • unterscheiden verschiedene Ansätze zur Geräteverwaltung in paravirtualisierten Systemen • erläutern Betriebssystem-basierte Virtualisierung • entwickeln unterschiedliche Bibliotheks-basierte Virtualisierungen

		• erläutern Probleme beim Speicher-Layout bei Bibliotheks-basierte Virtualisierung • konzipieren Personalities für Bibliotheks-basierte Virtualisierungen • beurteilen Probleme bei der korrekten Zeit-Simulation • nennen Ideen für die dynamische Anpassung der Zeit-Simulation • klassifizieren bekannte VMs (z.B. VICE, FAUmachine, QEMU, Bochs, JVM, KVM, User-Mode-Linux, Xen, VServer, Wine) • diskutieren in der Gruppe Vor- und Nachteile von bestimmten VM-Ansätzen • untersuchen CPU-Emulationen • untersuchen Geräte-Emulationen
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 292952	Hardware-Software-Co-Design (Vorlesung mit erweiterter Übung) Hardware-software-co-design (Lecture with extended exercises)	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: UE-HSCD (2 SWS) Vorlesung: Hardware-Software-Co-Design (2 SWS) Übung: Erweiterte Übungen zu Hardware-Software-Co-Design (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Muhammad Sabih Tobias Hahn Abrarul Karim Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	
5	Contents	Zahlreiche Realisierungen eingebetteter Systeme (z.B. Mobiltelefone, Faxgeräte, Industriesteuerungen) zeichnen sich durch kooperierende Hardware- und Softwarekomponenten aus. Die Popularität solcher Realisierungsformen lässt sich begründen durch 1) die steigende Vielfalt und Komplexität heterogener Systeme, 2) die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken und 3) Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Entwurfsmethoden). Zum Beispiel bieten Halbleiterhersteller kostengünstige ASICs an, die einen Mikrocontroller und benutzerspezifische Peripherie und Datenpfade auf einem Chip integrieren. Die Synthese solcher Systeme wirft jedoch eine Reihe neuartiger Entwurfsprobleme auf, insbesondere 1) die Frage der Auswahl von Hardware- und Softwarekomponenten, 2) die Partitionierung einer Spezifikation in Hard- und Software, 3) die automatische Synthese von Interface- und Kommunikationsstrukturen und 4) die Verifikation und Cosimulation. 1) Überblick und Vergleich von Architekturen und Komponenten in Hardware/Software-Systemen. 2) Aufbau eines Compilers und Codeoptimierungsverfahren für Hardware und Software 3) Hardware/Software-Partitionierung (Partitionierung komplexer Systeme, Schätzungsverfahren, Performanzanalyse, Codegenerierung) 4) Interfacesynthese (Kommunikationsarten, Synchronisation, Synthese) 5) Verifikation und Cosimulation 6) Tafelübungen 7) Demonstrationen mit rechnergestützten Entwurfswerkzeugen und praktische Übungen Content: Numerous realisations of embedded systems (e.g. mobile phones, fax machines, industrial controls) are characterised by cooperating hardware and software components. The popularity of such realisations can be explained by 1) the increasing diversity and	

		complexity of heterogeneous systems, 2) the need to reduce design and testing costs, and 3) advances in key technologies (microelectronics, formal design methods). For example, semiconductor manufacturers offer low-cost ASICs that integrate a microcontroller and user-specific peripherals and data paths on a single chip. However, the synthesis of such systems raises a number of novel design problems, in particular 1) the issue of hardware and software component selection, 2) the partitioning of a specification into hardware and software, 3) the automatic synthesis of interface and communication structures, and 4) verification and cosimulation. 1) Overview and comparison of architectures and components in hardware/software systems. 2) Structure of a compiler and code optimisation procedures for hardware and software. 3) Hardware/software partitioning (partitioning of complex systems, estimation procedures, performance analysis, code generation) 4) Interface synthesis (communication types, synchronisation, synthesis) 5) Verification and cosimulation 6) Blackboard exercises 7) Demonstrations with computer-aided design tools and practical exercises
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen • Die Studierenden erhalten Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet. Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden verstehen Grundlagen des modernen Systementwurfs. • Die Studierenden erklären Implementierungsalternativen für digitale Hardware/Software-Systeme. Fachkompetenz - Anwenden • Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an, zur Analyse und Optimierung von Hardware/Software-Systemen. • Die Studierenden wenden das erlernte Wissen in den erweiterten Übungen vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls an. Sozialkompetenz • Die Studierenden benutzen aktuelle Entwurfswerkzeuge für die Spezifikation, Optimierung und Prototypisierung von Hardware/Software-Systemen bei der kooperativen Bearbeitung der erweiterten Übung in Gruppen. Competences: Professional competence - Knowledge • Students gain insight into a current field of research. Professional competence - Understanding • Students understand the basics of modern system design. • Students explain implementation alternatives for digital hardware/software systems. Professional competence - Application

		- Students apply basic algorithms to analyse and optimise hardware/software systems. - The students apply the knowledge they have acquired in the extended exercises on site at the computer workstations of the department. Social competence - The students use current design tools for the specification, optimisation and prototyping of hardware/software systems in the cooperative processing of the extended exercise in groups.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Hardware-Software-Co-Design“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Klausur (90 min) und erfolgreicher Bearbeitung aller Übungsaufgaben in den erweiterten Übungen (verpflichtend, vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls). Die Sprache der Klausur ist abhängig von der Wahl der Studierenden entweder Deutsch oder Englisch.
11	Grading procedure	Written examination (100%) Die Modulnote ergibt sich aus der Klausurnote.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: - Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6 - Gajski, D. et al.: "Specification and Design of Embedded Systems", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994, ISBN: 978-0131507319 Weitere Informationen:

	https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/hardware-software-co-design

1	Module name 393750	Fortgeschrittene forensische Informatik Advanced forensic computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Felix Freiling
5	Contents	Die Vorlesung "Fortgeschrittene Forensische Informatik" ist eine forschungsorientierte Weiterführung der Vorlesung "Forensische Informatik". Behandelt werden forschungsnahе Themen aus dem Bereich der forensischen Informatik, beispielsweise Browser- und Anwendungsforensik, Netzwerkforensik, Hauptspeicheranalyse, Analyse von Mobiltelefonen, theoretische Modelle. Der Stoff der Vorlesung wird beispielhaft durch praktische Aufgaben in der gleichlautenden Übung vertieft.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erhalten Einblicke in aktuelle Forschung im Bereich der forensischen Informatik. Sie können die wesentlichen Fragestellungen, Probleme und Lösungsmöglichkeiten wiedergeben und in den Kontext digitaler Ermittlungen einordnen. Sie können Forschungsergebnisse qualitativ bewerten und vergleichen. Sie lernen, die Forschungsergebnisse auf konkrete Problemstellungen im Bereich der IT-Forensik anzuwenden und die entstehenden Ergebnisse vor Fachexperten zu vertreten.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	

1	Module name 451696	Cyber-Physical Systems Cyber-physical systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Cyber-Physical Systems (2 SWS) Übung: Übung zu Cyber-Physical Systems (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Torsten Klie	

4	Module coordinator	Joachim Falk Dr.-Ing. Torsten Klie
5	Contents	Klassische Computersysteme zeichnen sich durch eine strikte Trennung von realer und virtueller Welt aus. Moderne Steuerungssysteme, die z.B. in modernen Fahrzeugen verbaut sind und die aus einer Vielzahl von Sensoren und Aktoren bestehen, entsprechen diesem Bild nur sehr eingeschränkt. Diese Systeme, oft "Cyber-Physical Systems (CPS)" genannt, erkennen ihre physische Umgebung, verarbeiten diese Informationen und können die physische Umwelt auch koordiniert beeinflussen. Hierzu ist eine starke Kopplung von physischem Anwendungsmodell und dem Computer-Steuerungsmodell nötig. Im Unterschied zu Eingebetteten Systemen bestehen CPS meist aus vielen vernetzten Komponenten, die sich selbständig untereinander koordinieren. Diese Vorlesung spannt den Bogen von kontrolltheoretischen Grundlagen über Selbstorganisationsprinzipien bis hin zu visionären Anwendungen aus den Bereichen Verkehr und Medizintechnik. Ferner werden Entwurfsmethoden für Cyber-Physical Systems vorgestellt.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erläutern, was Cyber-Physical Systems sind und auf welchen technologischen Grundlagen sie aufbauen, insbesondere in den Bereichen Regelungstechnik, Ablaufplanung, Kommunikation und Selbstorganisation bewerten CPS in verschiedenen Anwendungsgebieten stellen den Entwurfsprozess von CPS dar, insbesondere die Modellierung und die grundlegende Programmierung entdecken wesentliche Herausforderungen beim Entwurf, Ausbringung und Einsatz von CPS.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio schriftlich (Klausur, 90 Minuten)
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: • Andrea Bondavalli, Sara Bouchenak und Hermann Kopetz (Hrsg.) Cyber-Physical Systems of Systems: Foundations – A Conceptual Model and Some Derivations: The AMADEOS Legacy. Springer 2016. • Otto Föllinger Regelungstechnik. Hüthig 1992. • Hilmar Jaschek und Holger Voos Grundkurs der Regelungstechnik. Oldenbourg 2010. • Jörg Kahlert Crash-Kurs Regelungstechnik. VDE Verlag 2010. • Peter Marwedel Embedded Systems Design – Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things, 4. Auflage. Springer 2021 • André Platzner Logic Foundations of Cyber-physical Systems. Springer 2018. • Wolfgang Schneider Praktische Regelungstechnik. Vieweg +Teubner 2008. • Walid M. Taha, Abd-Ehamid M. Taha und Johan Thunberg Cyber-physical Systems – A Model-based Approach. Springer 2021. Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/cyber-physical-systems/

1	Module name 436348	CPU Entwurf mit VHDL (Schwerpunkt VHDL) CPU Design with VHDL (Focus on VHDL)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: CPU Entwurf mit VHDL (CPU) Übung: CPU Entwurf mit VHDL (CPU) - Übung	- -
3	Lecturers	Philipp Holzinger Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey Johannes Kliemt Thomas Schlögl	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Die Vorlesung wird einen Einblick in die wichtigsten Strukturen eines Rechners und insbesondere die der CPU geben. Wie sind die Register, die ALU, die Caches usw. aufgebaut, wie sind sie miteinander verschaltet? Wie werden Pipelines gebildet? Um die Vorlesung verstehen und die Übungsaufgaben lösen zu können, werden VHDL-Kenntnisse benötigt. Diese werden in der Vorlesung vermittelt. Im ersten Teil der Vorlesung geht es darum, aus einfachen Und-, Oder- und Inverter-Gattern größere Strukturen aufzubauen. So werden beispielsweise die Register und die Komponenten der ALU (Addierer, Multiplizierer, Shifter usw.) nach und nach aufgebaut. Aus den Einzelteilen lassen sich dann wiederum die Registerbänke, die ALU, die Speichereinheit usw. zusammensetzen. Mit guten Rechenwerken allein ist eine CPU noch nicht wirklich schnell. Es müssen schnell genug Instruktionen gelesen und dekodiert sowie die Operanden geholt werden können. Nach dem schnellen Verarbeiten in den Rechenwerken müssen die Ergebnisse dann wiederum schnell in die Zielregister bzw. Ziel-Speicherzellen kopiert werden. Das wichtigste Verfahren, um hierbei Performance zu gewinnen, ist das Pipelining. Leider gibt es eine Reihe von Bedingungen, die erfüllt sein müssen, dass Pipelining wirklich gut funktioniert. So dürfen keine Daten-Abhängigkeiten im Code vorhanden sein, müssen Sprungziele rechtzeitig bekannt sein und dürfen bestimmte Ressourcen nicht mehrfach gleichzeitig genutzt werden. Mittels Forwarding, Sprungvorhersage und Caches können die Probleme gemildert werden. Mit den so gewonnenen Fähigkeiten sind dann auch Multi-Core- und Multi-Threading-Architekturen verständlich.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden verstehen den inneren Aufbau moderner CPUs (Pipeline, Registerbänke, ALU, Caches, Memory-Management-Unit, Segmentierungseinheit, ...) und können selbst performante CPUs aus einfachen Basis-Schaltungen aufbauen.
7	Prerequisites	keine
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222

10	Method of examination	Oral
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 869547	Advanced Networking LEx Advanced networking LEx	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Kai-Steffen Hielscher
5	Contents	Für die durch Big Data, Cloud Computing, Internet-of-Things (IoT) und mobile Endgeräte hervorgerufenen Herausforderungen sind neue Architekturen für Rechnernetze entstanden: Software-Defined-Networking (SDN) entkoppelt die Data Plane (Weiterleitung von Paketen, auf handelsüblicher Hardware) und die Control Plane (Steuerung, auf leistungsfähigen Plattformen) und bietet offene Programmierschnittstellen; Network Functions Virtualization (NFV) erweitert Konzepte zur Server- und Netzwerkvirtualisierung, so dass bisher auf proprietärer Hardware ausgeführte Netzwerkfunktionen (wie z.B. Routing) ebenfalls virtualisiert und auf handelsüblicher Hardware ausgeführt werden können. Die Vorlesung stellt hinter diesen Technologien stehende Konzepte und Standards vor und zeigt, wie sie für Rechenzentren, für Cloud- und Fog-Computing und für IoT-Anwendungen eingesetzt werden können. Content: New architectures for computer networks have emerged to meet the challenges posed by Big Data, Cloud Computing, Internet-of-Things (IoT) and mobile devices: Software-Defined-Networking (SDN) decouples the data plane (forwarding of packets, on commercially available hardware) and the control plane (control, on powerful platforms) and offers open programming interfaces; Network Functions Virtualization (NFV) extends concepts for server and network virtualisation, so that network functions (such as routing) previously executed on proprietary hardware can also be virtualised and executed on commercially available hardware. The lecture introduces concepts and standards behind these technologies and shows how they can be used for data centres, for cloud and fog computing and for IoT applications.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Verstehen Die Studierenden erlangen Verständnis der grundlegenden Konzepte von • Software Defined Networking • Network Function Virtualization • Internet of Things • Cloud Computing. Anwenden Die Studierenden wenden die Erkenntnisse in Übungsaufgaben an. Erschaffen

		Die Studierenden erstellen eigene Laborkonfigurationen zu • Software Defined Networking • Internet of Things. Competences: Professional competence Understanding Students will gain an understanding of the basic concepts of • Software Defined Networking • Network Function Virtualization • Internet of Things • Cloud Computing. Apply Students apply the knowledge gained in exercises. Create The students create their own laboratory configurations on • Software Defined Networking • Internet of Things.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio Prüfungsleistung, mehrteilige Prüfung, Dauer (in Minuten): 30, benotet Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100.0 % weitere Erläuterungen: Die Modulprüfung besteht aus: • Bearbeitung (zwei)wöchentlicher Aufgabenblätter in Gruppenarbeit. Für diese unbenotete Studienleistung sind alle Aufgabenblätter korrekt zu lösen und abzugeben. • mündliche Prüfung (Dauer: 30 Minuten)
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	William Stallings: Foundations of Modern Networking - SDN, QoE, IoT, and Cloud; Pearson

1	Module name 965820	Approximate Computing Approximate computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Exercises to Approximate Computing (2 SWS) Vorlesung: Approximate Computing (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Pierre-Louis Sixdenier Khalil Esper Jose Juan Hernandez Morales Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Approximate Computing denotes a quite young research area that exploits the fact and capability of many applications and systems to tolerate imprecision and/or inexactness of computed results. Prominent areas of applications and novel techniques of computing approximate rather than exact results have brought up new implementations either at hardware and/or software levels for important emergent workloads such as searching, mining, image processing, and data retrieval. Although hardware technology is improving at a fast pace, energy and power are becoming more and more important constraints apart from exactly computing results in an acceptable amount of time. The main goals of approximate computing techniques are therefore to exploit the possible trade-off between power/energy consumption, accuracy, performance, and/or cost, e.g., utilized hardware resources. The purpose of the course approximate computing is to instruct students about the main ideas and concepts of approximate computing. This includes analyzing the trade-off between energy consumption, accuracy, run-time and hardware costs, concrete approximating techniques (e.g. approximate hardware synthesis, approximating algorithms) as well as theoretical background (determining the computational error and its complexity).
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen - The students know the principles and benefits of Approximate Computing and when it is applicable. - The students know multiple error metrics and their semantic meaning. Fachkompetenz - Verstehen - The students understand the difference between the error metrics. - The students understand the principle of function falsification. - The students can apply the presented approximation techniques. Fachkompetenz - Anwenden - The students are capable of choosing the appropriate approximation technique based on given requirements.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Oral exam in case of less than 20 participants (duration 30 mins). Otherwise, written exam (duration 90 mins).
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/approximate-computing

1	Module name 901895	Deep Learning Deep learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Deep Learning (2 SWS) Übung: DL E (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier Zijin Yang Alexander Barnhill	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Deep Learning (DL) has attracted much interest in a wide range of applications such as image recognition, speech recognition and artificial intelligence, both from academia and industry. This lecture introduces the core elements of neural networks and deep learning, it comprises: • (multilayer) perceptron, backpropagation, fully connected neural networks • loss functions and optimization strategies • convolutional neural networks (CNNs) • activation functions • regularization strategies • common practices for training and evaluating neural networks • visualization of networks and results • common architectures, such as LeNet, Alexnet, VGG, GoogleNet • recurrent neural networks (RNN, TBPTT, LSTM, GRU) • deep reinforcement learning • unsupervised learning (autoencoder, RBM, DBM, VAE) • generative adversarial networks (GANs) • weakly supervised learning • applications of deep learning (segmentation, object detection, speech recognition, ...) The accompanying exercises will provide a deeper understanding of the workings and architecture of neural networks.
6	Learning objectives and skills	The students • explain the different neural network components, • compare and analyze methods for optimization and regularization of neural networks, • compare and analyze different CNN architectures, • explain deep learning techniques for unsupervised / semi-supervised and weakly supervised learning, • explain deep reinforcement learning, • explain different deep learning applications, • implement the presented methods in Python, • autonomously design deep learning techniques and prototypically implement them, • effectively investigate raw data, intermediate results and results of Deep Learning techniques on a computer,

		• autonomously supplement the mathematical foundations of the presented methods by self-guided study of the literature, • discuss the social impact of applications of deep learning applications.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Written exam, 90 min.
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville: Deep Learning. MIT Press, 2016. • Christopher Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer Verlag, Heidelberg, 2006 • Yann LeCun, Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton: Deep learning. Nature 521, 436444 (28 May 2015)

1	Module name 894856	Künstliche Intelligenz I Artificial intelligence I	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Michael Kohlhasse
5	Contents	Dieses Modul beschäftigt sich mit den Grundlagen der Künstlichen Intelligenz (KI), insbesondere formale Wissensrepräsentation, Heuristische Suche, Automatisches Planen und Schliessen unter Unsicherheit. --- This module covers the foundations of Artificial Intelligence (AI), in particular symbolic techniques based on search and inference.
6	Learning objectives and skills	- Wissen: Die Studierenden lernen grundlegende Repräsentationsformalismen und Algorithmen der Künstlichen Intelligenz kennen. - Anwenden: Die Konzepte werden an Beispielen aus der realen Welt angewandt (Übungsaufgaben). - Analyse: Die Studierenden lernen die über die modellierung in der Maschine menschliche Intelligenzleistungen besser einzuschätzen. Sozialkompetenz - Die Studierenden arbeiten in Kleingruppen zusammen um kleine Projekte zu bewältigen *Inhalt*: - Agentenmodelle als Grundlage der Künstlichen Intelligenz - Logisches Programmieren in Prolog - Heuristische Suche als Methode zur Problemlösung - Zwei-Agenten-Suche (automatisierung von Brettspielen) mittels heuristischer Suche - Constraint Solving/Propagation - Logische Sprachen für die Wissensrepräsentation - Inferenz and Automatisiertes Theorembeweisen (DPLL-Varianten und PL1)_ - Classisches Planen - Planen und Agieren in der wirklichen Welt. --- Technical, Learning, and Method Competencies - Knowledge: The students learn foundational representations and algorithms in AI. - Application: The concepts learned are applied to examples from the real world (homeworks). - Analysis: By modeling human cognitive abilities, students learn to assess and understand human intelligence better. - Social Competences: Students work in small groups to solve an AI game-play challenge/competition (Kalah). Contents: Foundations of symbolic AI, in particular:

		- Agent Models as foundation of AI - Logic Programming in Prolog - Heuristic Search as a method for problem solving - Adversarial Search (automating board games) via heuristic search - Constraint Solving/Propagation - Logical Languages for knowledge representation - Inference and automated theorem proving - Classical Planning - Planning and Acting in the real world.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Es werden 8-12 Übungsaufgaben gestellt, in denen Bonuspunkte gesammelt werden können. Für das Bestehen des Moduls muss nur die 90-minütige schriftliche Klausur bestanden werden.
11	Grading procedure	Written examination (100%) Die Note ergibt sich hauptsächlich aus der 90-minütigen schriftlichen Klausur. Bei Bestehen der Klausur kann die Note um bis zu 10% durch Punkte aus den Übungsaufgaben aufgebessert werden.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Die Vorlesung folgt weitgehend dem Buch Stuart Russell und Peter Norvig: Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall, 3rd edition, 2009. Deutsche Ausgabe: Stuart Russell und Peter Norvig: Künstliche Intelligenz: Ein Moderner Ansatz. Pearson-Studium, 2004 (Übersetzung der 2. Auflage). ISBN: 978-3-8273-7089-1.

1	Module name 668129	Machine Learning in Communications Machine learning in communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci
5	Contents	Recently, in many areas of wireless communications such as wireless sensor networks (WSNs), heterogeneous networks and complex ad hoc networks, distributed graph algorithms and machine learning on graphs are gaining relevance as fundamental tools in network analysis and information processing. This motivates to deliver a general introduction to fundamentals of machine learning such as detection of clusters on graphs. The introduction is followed by the application of machine learning to the design of physical and data layer techniques in wireless communications and in the optimization of mobile networks.
6	Learning objectives and skills	The students • know and explain the fundamentals of machine learning with special attention to machine learning over graphs. • apply these principles in the design and optimisation of wireless communications systems and mobile networks.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The examination is a 30-minute oral exam. The examination language is English.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 722831	Middleware - Cloud Computing (Vorlesung mit erweiterten Übungen) Lecture and advanced tutorial: Middleware - Cloud computing	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Tobias Distler
5	Contents	• Überblick Cloud Computing • Grundlagen verteilter Programmierung (Web Services/SOAP/ REST) • Virtualisierung als Basis für Cloud Computing • Infrastructure as a Service (IaaS) am Beispiel von Eucalyptus und Amazon EC2 • Skalierbare Verarbeitung von großen Datenmengen • Interoperabilität und Multi-Cloud Computing • Fehlertoleranz im Kontext von Cloud Computing • Aktuelle Forschungstrends
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: - nennen unterschiedliche Ausprägungen von Cloud-Computing. - erläutern verschiedene Cloud-Architekturen. - stellen Vor- und Nachteile von Cloud-Computing gegenüber. - unterscheiden die Herangehensweisen bei der Entwicklung von SOAP- im Vergleich zu REST-Anwendungen. - organisieren den Austausch von Informationen in einer verteilten Anwendung unter Verwendung eines Verzeichnisdienstes. - entwickeln eigene auf Web-Services basierende Anwendungen. - bewerten die Vor- und Nachteile der Bündelung von Nachrichten beim Aufruf von Web-Services. - erläutern die Anforderungen an ein virtualisiertes System. - beschreiben die für die Virtualisierung eines Systems erforderlichen Kriterien. - vergleichen zwischen unterschiedlichen Virtualisierungstechniken und -ebenen. - schildern den Aufbau und die Funktionsweise von Xen und Linux-VServer. - erproben das Einrichten eines Abbilds für eine virtuelle Maschine. - skizzieren die Architektur einer Infrastruktur-Cloud sowie die Aufgabenbereiche hierfür zentraler Komponenten am Beispiel von Eucalyptus. - erproben das Bereitstellen von Anwendungen in einer Infrastruktur-Cloud. - zeigen die Grundlagen Software-definierter Netzwerke am Beispiel von Onix und B4 auf. - bewerten verschiedene im Bereich Cloud-Computing zum Einsatz kommende Datenspeichersysteme (Google File System, Bigtable,

		Windows Azure Storage, Amazon Dynamo) hinsichtlich der Kriterien Verfügbarkeit, Konsistenz und Partitionstoleranz. - erläutern eine auf Vektoruhren basierende Methode zur Auflösung im Zusammenhang mit letztendlicher Konsistenz auftretender Konflikte. - entwickeln ein verteiltes, repliziertes Dateisystem nach dem Vorbild von HDFS, das auf die hierarchische Speicherung großer Datenmengen ausgelegt ist. - erkunden das Bereitstellen selbst entwickelter Dienste mittels Docker. - erstellen ein Framework zur parallelen Bearbeitung von Daten nach dem Vorbild von MapReduce. - konzipieren eigene MapReduce-Anwendungen zur Verarbeitung strukturierter bzw. unstrukturierter Rohdaten. - diskutieren die Fehlertoleranzmechanismen in Google MapReduce. - schildern die grundsätzliche Funktionsweise von Systemen zur Kühlung von Datenzentren mittels Umgebungsluft. - beschreiben das Grundkonzept einer temperaturabhängigen Lastverteilung von Prozessen in einem Datenzentrum. - stellen diverse Ansätze zur Erhöhung der Energieeffizienz von MapReduce-Clustern gegenüber. - unterscheiden die Architekturen und Funktionsweisen der Koordinierungsdienste Chubby und ZooKeeper. - entwickeln einen eigenen Koordinierungsdienst nach dem Vorbild von ZooKeeper. - ermitteln die Konsistenzeigenschaften der eigenen Koordinierungsdienstimplementierung. - erläutern unterschiedliche Ansätze zur Reduzierung bzw. Tolerierung von Tail-Latenz. - skizzieren das Grundkonzept von Erasure-Codes. - beschreiben den Aufbau eines auf die Clouds mehrerer Anbieter gestützten Datenspeichersystems. - erläutern den Einsatz passiver Replikation zur Bereitstellung von Fehlertoleranzmechanismen für virtuelle Maschinen am Beispiel von Remus. - schildern die Grundlagen der Migration von virtuellen Maschinen. - bewerten die Qualität einer aktuellen Publikation aus der Fachliteratur. - erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Konsistenz, Skalierbarkeit) und Fehlerquellen bei der Programmierung verteilter Anwendungen. - können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. - können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. - können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen. - reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab.
7	Prerequisites	Gute Programmierkenntnisse in Java
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

10	Method of examination	Portfolio Das Modul wird bestanden bei erfolgreicher Bearbeitung aller 6 Aufgaben zu den erweiterten Übungen (Bewertung jeweils mit "ausreichend") und dem Bestehen einer 30-minütigen mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Bewertung der mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 43460	Satellitenkommunikation Satellite communication	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übung Satellitenkommunikation (2 SWS) Vorlesung: Satellitenkommunikation (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Marcelo Michael Dr. Christian Rohde	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger
5	Contents	Nach einem historischen Rückblick zur Entwicklung der Satellitenkommunikation werden die einzelnen Komponenten eines typischen Gesamtsystems (Boden- und Raumsegment) näher betrachtet. Hierzu zählt der prinzipielle Aufbau von Trägerraketen, von Satelliten (Satellitenplattformen, Subsysteme, Nutzlasten), die meist genutzten Umlaufbahnen und die verschiedenen Kommunikationsverbindungen (Uplink, Downlink, Inter-Satellite-Link). Die Besonderheiten der Signalausbreitung und -übertragung über große Entfernungen zwischen Bodenstationen und Satelliten werden erklärt und mit Beispielen ergänzt. Dabei wird insbesondere eingegangen auf verwendete Frequenzen, Signaldispersion und -dämpfung, atmosphärische Effekte sowie Störeinflüsse der Weltraumumgebung. Die Architektur transparenter und regenerativer Kommunikationseinheiten wird ausführlich an Beispielen kommerziell verfügbarer Transponder und Onboard-Prozessoren erklärt. Die Prinzipien moderner, standardisierter Verfahren zur Signalaufbereitung und Übertragung von Video-/Bild und Audiosignalen über Satellit (z.B. MPEG, H.264/265, DVB-S/-S2/-S2X) werden erläutert und diskutiert. Dies umfasst Verfahren zur Quellencodierung, Kanalcodierung und Modulation, Kanalzugriff und -diversität. Außerdem wird auf die im Orbit und im kommerziellen Einsatz befindlichen Kommunikationssatelliten und der damit verbundenen großen Dienstvielfalt eingegangen wie z.B. bei TV- und Breitbandversorgung sowie in Mobilkommunikationssystemen. Abschließend werden einige Herausforderungen und Forschungsansätze im Zusammenhang mit den neuen Megakonstellationen und Next Generation High Throughput Satellites (HTS) für zukünftige Satellitensysteme vorgestellt. Die in der Vorlesung behandelten physikalischen, elektro- und nachrichtentechnischen Zusammenhänge werden in den ergänzenden Übungen mit Rechenbeispielen vertieft. Gliederung der Vorlesung: 1. Einführung: Überblick über die Hauptkomponenten, Satelliten, Anwendungen und Dienste, sowie Orbits, Aufgaben und Frequenzen der Satellitennetze 2. Historie der Satellitenkommunikation: Wichtige Meilensteine, Entwicklung in Europa und Deutschland 3. Orbits und Konstellationen:

Keplersche Gesetze, Beschreibung von Orbits, verwendete Umlaufbahnen, Bodenspuren, erreichbare Abdeckung

4. Trägersysteme:

Trägerraketen, Entwicklung, Anbietermarkt, Nutzlastfähigkeit, Startplätze, Startverlauf

5. Satellitenaufbau:

Auswahl aktueller Satellitenplattformen, Satellitenaufbau, Plattformkomponenten, Montageschritte und Tests

6. Satellitennutzlast (Payload):

Komponenten, Industrielle Beispiele, Aufbau und Aufgaben der Payload, Transponderarchitekturen, Antennen

7. Signalausbreitung und Leistungsbilanz:

Signalausbreitung, Freiraumverluste, Signaldämpfung, Rauschen, Signal-Rausch-Verhältnis, Linkbudget

8. Weltraumumgebung: Weltraumumgebungsbedingungen, Einflüsse auf den Satelliten und die Elektronik der Nutzlast

9. Quellencodierung:

Audio-, Bild- und Videokompression des Content des Satellitenfernsehens

10. Signalmodulation und Kanalcodierung:

Signalkonstellationen, Modulation und Codes zur Fehlerkorrektur

11. Diversitäts- und Zugriffsverfahren:

Medium Access, Duplextechniken, Multiplexmethoden, Diversitätstechniken

12. Moderne Satellitenkommunikationssysteme:

Rundfunksysteme wie Sirius XM Satellite Radio, zellulare Internetversorgung mittels Satellitenkommunikation

13. Neueste Themen aus Forschung und Entwicklung

SatKom auf StudOn: <http://www.studon.uni-erlangen.de/crs117969.html>

After a historical retrospective about the developments in satellite communication, the core components of a typical satellite system (ground- and space-segment) are introduced. The principles and architectures of rockets/ carriers, satellites (platform, subsystems, payload), used orbits, and the various communication links (uplink, downlink, inter-satellite-link) are shown. The special features and properties of signal transmission over such large distances are explained and stuffed with examples. In particular, more details are provided on the used frequencies, signal dispersion and attenuation, atmospheric effects as well as impairments due to space environment. The architecture of transparent and regenerative communication payloads are described in detail, accompanied by corresponding examples of commercially used transponders and onboard-processors and their technology.

The principles of modern standardized methods for signal transmission and preparation of video-/image- and audio-signals via satellite, e.g., MPEG, H.264/265, DVB-S/-S2/-S2X, are illustrated and discussed.

		This includes methods for efficient source coding, channel coding and modulation, channel access and diversity schemes. Furthermore, the currently available communication satellites in orbit and the related variety of commercial services are introduced like, e.g., TV- and broadband services as well as mobile communication services and systems. Based on that, a few challenges and perspectives for research and development for future satellite systems are highlighted with respect to the upcoming new mega constellations and next generation high throughput satellites (HTS). The physical, electro-technical and communications concepts and schemes shown in the lectures are complemented by tutorials with sample calculations. Table of contents: 1. Introduction: Overview of main components, satellites, applications and services, orbits, tasks, frequencies, satellite networks 2. History of satellite communications: Major milestones, development in Europe and Germany 3. Orbits and constellations: Kepler's laws, description of orbits, orbits used, ground tracks, achievable coverage 4. Launcher systems: Launch vehicles, providers, payload capabilities, launch sites, launch history 5. Satellite structure: Selection of current satellite platforms, satellite structure, platform components, assembly steps and tests 6. Payload: Components, structure and tasks of payload, transponder architecture, antennas 7. Signal propagation and link budget: Signal propagation, free space losses, signal attenuation, noise, signal to noise ratio, link budget 8. Space environment: Space environmental conditions, influences on the satellites and payload electronics 9. Source coding: Audio, image and video compression - the satellite TV broadcasting content 10. Signal modulation and channel coding: Signal constellations, modulation and error correction coding 11. Diversity and access schemes: Medium access, duplex methods, multiplex methods, diversity techniques 12. Modern satellite communications systems: Broadcasting systems like Sirius XM Satellite Radio, satellite cellular broadband communication 13. Latest topics in research and development
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden bekommen einen guten Überblick über alle Aspekte der Satellitenkommunikation inklusive Historie. • Die Studierenden lernen die weltweit führenden oder in Europa ansässigen Firmen und Organisationen kennen, die in den Bereichen Satellitenbau und -betrieb, Satellitendienste bzw. -anwendungen, sowie Forschung und Entwicklung tätig sind. • Die Studierenden können die Herausforderungen der Weltraumumgebung sowie Vor- und Nachteile verschiedener Orbits einschätzen und wichtige Kenngrößen berechnen

		- Die Studierenden lernen die Signalverarbeitungsschritte im Sender, Satelliten und Empfänger kennen - von der Audio/Video-Quelle über Link-Budget-Berechnungen bis zur Datensinke. - Die Studierenden lernen den Aufbau und wichtige Kenngrößen von Satelliten, Konstellationen und Launchern kennen und dabei verwendete Konzepte zu unterscheiden und zu klassifizieren bzgl. deren Vor- und Nachteilen.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (90 minutes) Klausur, 90min
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Skriptum zur Lehrveranstaltung

1	Module name 43911	Modellierung und Simulation von Schaltungen und Systemen Modelling and simulation of circuits and systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Klaus Helmreich
5	Contents	Motivation Ohne Simulation ist weder der Entwurf (mikro-)elektronischer Bauteile und Schaltungen denkbar, noch der von technischen Systemen, die solche Schaltungen und zusätzlich z.B. mechanische Komponenten enthalten. In Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik werden zu entwerfende Systeme daher auf verschiedenen Abstraktionsebenen simuliert. Dazu müssen sie geeignet modelliert sein, so daß die Simulation mittels numerischer Algorithmen rasch und genau erfolgen kann. Gliederung Die Vorlesung umfaßt Modellierungsansätze und Simulationsalgorithmen für elektronische Bauteile, hochfrequenztechnische Anordnungen, analoge elektrische Schaltkreise, digitale und gemischt analog-digitale Schaltungen sowie Systeme gemischter, also nicht rein elektrischer Natur. In der Übung werden wesentliche Algorithmen mit Matlab implementiert, wobei z.B. ein einfacher Schaltkreissimulator entsteht. 1 Einführung Begriffe und Definitionen, Modellierungsansätze, Modell- und Theoriebildung in der Naturwissenschaft, naturwissenschaftliche Darstellungen als Modelle der Wirklichkeit, Nutzung physikalischer Prinzipien und Theorien zur Behandlung technischer Fragestellungen durch Modellierung und Simulation, Abstraktionsebenen für Modellierung und Simulation in der Mikroelektronik 2 Beschreibung räumlich verteilter Systeme am Beispiel elektromagnetischer Felder Begriffe, mathematische Hilfsmittel: Operationen und Rechenregeln, Entstehung feldtheoretischer Begriffe und Darstellungen, Voraussagen der elektromagnetischen Feldtheorie und deren technische Anwendungen, Modellierung der Wechselwirkung elektromagnetischer Felder mit einfacher Materie, Darstellung im Frequenzbereich, Formulierung mathematischer Probleme in elektromagnetischen Größen zur Behandlung technischer Aufgabenstellungen 3 Simulation räumlich verteilter Systeme am Beispiel elektromagnetischer Felder Diskretisierung, Übersetzung der Operatoren und mathematischen Probleme auf räumliches Gitter, alternative Diskretisierungs- und Darstellungsmethoden, resultierende numerische Aufgabenstellungen, Formulieren von Randbedingungen 4 Simulation elektrischer Schaltkreise aus konzentrierten Bauelementen

		Übergang auf Netzwerke aus konzentrierten Bauelementen, Signaldarstellung durch Spannungen und Ströme, Knotenanalyse und modifizierte (erweiterte) Knotenanalyse, Zweigströme und Bauteilgleichungen, Problemformulierung als lineares Gleichungssystem, Einbeziehung nichtlinearer Bauelemente und Reaktanzen, Algorithmen zur numerischen Simulation elektrischer Schaltkreise, Schaltkreis-Simulationsprogramme: Schaltungsdarstellung und Analysearten 5 Simulation wert- und zeitdiskreter Systeme Übergang auf Signaldarstellung durch diskrete Werte, Abstraktionsebenen: Gatter-, Register-Transfer- und Algorithmenebene, Simulationsprogramme: Kategorien und Anforderungen, Klassifikation von Simulatoren hinsichtlich der Zeitverwaltung, Abstraktionsgrade bei der Modellierung des Zeitverhaltens von Komponenten, prinzipieller Simulationsalgorithmus 6 Hardware-Beschreibungssprachen für zeitdiskrete Systeme Begriff, Notwendigkeit, Entstehungsgeschichte und Anwendungsspektrum, aktuelle Hardware-Beschreibungssprachen, enthaltene Konzepte für Modellierung und Simulation am Beispiel VHDL: Strukturmodellierung, nebenläufige und sequentielle Verhaltensmodellierung, unterstützte Zeitverhaltensmodelle, Beispiele 7 Hardware-Beschreibung gemischt analog-digitaler Systeme und verschiedener analoger Naturen Konzept der Modellierung konservativer und mathematisch ähnlicher Systeme verschiedener analoger Naturen (elektrisch, mechanisch, hydraulisch, ...), Fluß- und Potentialgrößen, Simulationstechnik für gemischt analog-digitale Systeme, Entstehungsgeschichte entsprechender Simulatoren und Hardware-Beschreibungssprachen, unterstützte Abstraktionsebenen und Konzepte am Beispiel VHDL-AMS, Schnittstellenbeschreibung analoger Modelle, konservative und Signalflußmodellierung, Attribute und implizite Größen, Modellbeschreibung durch algebraische bzw. gewöhnlicher DGL, Modellbeispiele: FET, Inverter, A/D-Umsetzer, Gleichstrommotor
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden arbeiten an den folgenden Fachkompetenzen: Fachkompetenz Wissen • physikalische Prinzipien zur Behandlung technischer Fragestellungen durch Modellierung und Simulation nennen • alternative Diskretisierungs- und Darstellungsmethoden zur simulativen Behandlung feldtheoretischer Probleme darstellen • Anforderungen an Simulationsprogramme für wert- und zeitdiskrete Systeme angeben Verstehen • Netzlistendarstellung elektrischer Schaltungen kennen und interpretieren, die wesentlichen Algorithmen der elektrischen Schaltkreissimulation verstehen und Analysearten der Schaltkreissimulation erläutern • wesentliche Konzepte von Hardware-Beschreibungssprachen für zeitdiskrete Systeme erläutern

- Konzept der Modellierung konservativer und mathematisch ähnlicher Systeme verschiedener analoger Naturen verstehen und beschreiben

Anwenden

- bei raumverteilten Systemen Differentialoperationen in diskretisierte Darstellung übersetzen, Gleichungssystem bzw. Eigenwertproblem formulieren und in Datenstrukturen (Systemmatrix) übertragen
- auf elektrische Schaltkreise bzw. Netzwerke aus konzentrierten Elementen die modifizierte Knotenanalyse anwenden, Gleichungssystem aufstellen sowie in Datenstrukturen (Systemmatrix, Absolutvektor) übertragen

Analysieren

- die für technische Fragestellungen gebräuchlichen Modellierungsansätze unterscheiden
- die verschiedenen Abstraktionsebenen für Modellierung und Simulation in der Mikroelektronik untereinander abgrenzen hinsichtlich Anwendungsbereich, zugrundeliegender Annahmen, beschriebener Objekte, mathematischer Systembeschreibung und relevanter Darstellungsgrößen
- Simulationsprogramme hinsichtlich der Zeitverwaltung klassifizieren
- Abstraktionsgrade bei der Modellierung des Zeitverhaltens von Komponenten zeitdiskreter Systeme unterscheiden
- bei Hardware-Beschreibungssprachen zwischen Strukturmodellierung, nebenläufiger und sequentieller Verhaltensmodellierung unterscheiden

Evaluieren (Beurteilen)

- elektrotechnische Fragestellungen in Bezug auf Modellierung und Simulation hinsichtlich der Abstraktionsebene einstufen
- Simulationswerkzeuge hinsichtlich der Eignung für eine gegebene Aufgabenstellung bewerten
- für eine gegebene Aufgabenstellung die geeignete Modellierung und Simulationsunterstützung wählen

Erschaffen

- einfaches Simulationsprogramm für potentialtheoretische Probleme erstellen
- elementaren Schaltkreissimulator entwickeln

Lern- bzw. Methodenkompetenz

Lernziele hinsichtlich Lern- und Arbeitsmethoden:

- Programmiersprache, Datenstrukturkonzepte und wesentliche Operationen des Numerik-Werkzeugs Matlab exemplarisch für ähnliche Produkte erlernen
- in der Lage sein, sich das Arbeiten mit ähnlichen Werkzeugen und Programmiersprachen selbständig zu erschließen
- numerische Simulationsalgorithmen mit speziell dafür geeigneten Werkzeugen wie Matlab, Scilab oder Octave umsetzen

		• Simulationswerkzeuge in der Ingenieurtätigkeit souverän und mit Überlegung einsetzen Selbstkompetenz Lernziele hinsichtlich persönlicher Weiterentwicklung: • naturwissenschaftliche Aussagen und Beziehungen als Modelle verstehen • Möglichkeiten und Grenzen kommerzieller Simulationswerkzeuge auf verschiedenen Abstraktionsebenen beurteilen und sich deren effiziente Nutzung selbst aneignen • Modelle hinsichtlich Plausibilität, Falsifizierbarkeit und Gültigkeitsgrenzen hinterfragen sowie auf Simulationsergebnissen beruhenden Aussagen kritisch begegnen Sozialkompetenz Lernziele hinsichtlich des Umgangs mit Menschen: • Programme gemeinsam in Kleingruppen entwickeln • dabei auf Vorkenntnisse anderer zugreifen und aufbauen
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Prüfungsform: mündlich (30 Minuten)
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 44000	Test integrierter Schaltungen	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Test Integrierter Schaltungen (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Klaus Helmreich	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Klaus Helmreich
5	Contents	Motivation Damit unsere elektronischen Geräten überhaupt funktionieren, muß jede einzelne mikroelektronische Schaltung darin nach ihrer Fertigung geprüft werden. Wegen der Komplexität heutiger integrierter Schaltungen (ICs) machen diese Tests bis zur Hälfte der Fertigungskosten aus! - Ein guter Grund, sich mit dem Thema Test auseinanderzusetzen, wenn man sich mit Mikroelektronik befaßt. Gliederung Die Vorlesung umfaßt Inhalte zu Bedeutung, Theorie, Methodik, Gerätetechnik und Praxis des Tests in der Halbleiterfertigung. 1 Test in der Halbleiterfertigung Herstellungsphasen integrierter Schaltungen, wirtschaftliche Bedeutung des Tests, Testsysteme, Zuführungs- und Sortierautomaten, Prüfadapter für montierte ICs und Wafer, Kontakttechnologien für Wafertest, Modulare Testsysteme 2 Messen und Testen Begriffe und Definitionen, Meßunsicherheit und Irrtumsrisiko, Schätzung von statistischen Parametern: Mittelwert, Streuwert, Konfidenzintervalle, Rechnen mit statistischen Schätzwerten, Entscheidungsfindung bei Irrtumsrisiken, Hypothesentest der mathematischen Statistik als theoretische Grundlage des Fertigungstests, Schließen aus statistischen Aussagen 3 Fehler und Tests Definition, Klassifizierung hinsichtlich Entstehung und Auswirkung, Test im Herstellungsprozess und während des Produktlebens, Randbedingungen verschiedener Testaufgaben 4 Testkosten und Prüfstrategie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Zehner-Regel, Testkosten und Testgüte, Testkomplexität, Maßzahlen: Fehlerwahrscheinlichkeit, Ausbeuten, Fehlerüberdeckung, Testschlupf und Ausbeuteverlust 5 Testkategorien und Testerzeugung Notwendigkeit des Produktionstests, Defekte und Fehler, Zuverlässigkeitstest, Simulation und Test, Testentwurf, Bestandteile von Fertigungstests, Funktionstest und Strukturtest, Fehlermodelle, Testmustererzeugung durch Fehlersimulation und synthetische Verfahren, Fehlerklassen und Fehlerkatalog, redundante Fehler, D-Kalkül 6 Testsysteme Entstehungsgeschichte, Funktionsprinzip, Einteilung nach Einsatzbereich und Prüflingskategorie, Leistungsmerkmale und Aufbau, Pinelektronik 7 Prüfprogramm und Testsignalbeschreibung

		Zyklisierung und Prüftakt, Prüfmuster, Zeitmarken, Testsystemarchitekturen, Signalformate 8 Test gemischt analog-digitaler Schaltungen (Mixed-Signal Test) Instrumentierung, digitale Signalverarbeitung, Kohärentes Testen, Parameter gemischt analog-digitaler Schaltungen, spektrale und Histogrammtests, Testabläufe 9 Test weiterer Schaltungsklassen Speichertest: Fehlermodell, Prüfverfahren, algorithmische Mustergenerierung und Redundanzanalyse, Test von Hochfrequenzschaltungen: Instrumentierung und Besonderheiten, synthetische Instrumente, System-on-Chip- / System-In-Package-Test 10 Testfreundlicher Entwurf (Design for Testability) Begriff, Kosten, Standardisierung, Systematik der Verfahren, Ad-hoc-Methoden, Stimulusgenerierung und Signaturanalyse, Prüfpfadverfahren, Selbsttest
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Wissen die wesentlichen Geräte und Komponenten für den Produktionstest integrierter Schaltungen nennen und erläutern Verstehen • Prüfergebnisse als wahrscheinlichkeitsbehaftete Aussagen verstehen • technische und wirtschaftliche Erfordernisse beim Halbleitertest erläutern und entsprechende Abwägungen darstellen • technisch-wirtschaftliche Kenngrößen definieren und deren Zusammenhänge darstellen • Fehlermodelle beschreiben und deren Bedeutung für die Testsynthese darstellen • Verfahren zur automatischen Testmustererzeugung unterscheiden und beschreiben • Funktionsprinzip von Testsystemen und deren Komponenten erläutern • Komponenten der Testsignalbeschreibung zusammenstellen • Methoden des prüffreundlichen Entwurfs darstellen Anwenden • Vorgänge "Messen" und "Prüfen" voneinander abgrenzen und den Zusammenhang zwischen Meßunsicherheit und Irrtumsrisiko erklären • Mittelwerte und Streuwerte aus Meßdaten schätzen und für diese Konfidenzintervalle zu gegebener Irrtumswahrscheinlichkeit angeben • die Unsicherheit von aus meßunsicherkeitsbehafteten Anfangsgrößen berechneten Ergebnissen berechnen • sich der Denkfallen beim Schließen aus statistischen Aussagen bewußt sein • Prüfsignale anhand der Kriterien für kohärentes Testen definieren Analysieren

		• Fehler in technischen Produkten hinsichtlich Entstehung und Auswirkung klassifizieren • Testvorgänge an integrierten Schaltungen klassifizieren und zugehörige Randbedingungen nennen • Begriffe Defekt" (defect), Fehler" (fault), Irrtum" (error), Ausfall" (failure) am Beispiel Halbleitertest voneinander abgrenzen • Abläufe bei Halbleitertests hinsichtlich verschiedener Kriterien (hierarchisch) strukturieren und unterscheiden • Testsysteme und deren Architekturen hinsichtlich verschiedener Kriterien klassifizieren Evaluieren (Beurteilen) • technische und wirtschaftliche Bedeutung des Tests im Vergleich zu weiteren Bereichen der Halbleiterindustrie zutreffend einschätzen • Prüfkriterien anhand angestrebter Qualitätsanforderungen (Testschlupf) aufstellen • Testschwellen im Hinblick auf Minimierung einer Irrtumswahrscheinlichkeit wählen Erschaffen (keine) Lern- bzw. Methodenkompetenz Lernziele hinsichtlich Lern- und Arbeitsmethoden: Hypothesen statistisch prüfen, wahrscheinlichkeitsbehaftete Aussagen interpretieren Selbstkompetenz Lernziele hinsichtlich persönlicher Weiterentwicklung: Schlüsse aus statistischen Aussagen und Ergebnissen hinterfragen diesen kritisch begegnen Sozialkompetenz Lernziele hinsichtlich des Umgangs mit Menschen: • Übungsaufgabenstellungen gemeinsam in Kleingruppen lösen
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german

1	Module name 48440	Machine Learning in Signal Processing Machine learning in signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	This course is an introduction into machine learning and artificial intelligence. The special emphasis is on applications to modern signal processing problems. The course is focused on design principles of machine learning algorithms. The lectures start with a short introduction, where the nomenclature is defined. After this, probabilistic graphical models are introduced and the use of latent variables is discussed, concluding with a discussion of hidden Markov models and Markov fields. The second part of the course is about deep learning and covers the use of deep neural networks for machine learning tasks. In the last part of the lecture, the use of deep neural networks for speech processing tasks is introduced. The course is based on the materials and video footage from Dr. Roland Maas. He is an outstanding machine learning expert and a former member of the Chair of Multimedia Communications and Signal Processing.
6	Learning objectives and skills	After attending the lecture, students will be able to • understand regression and classification problems • apply PDF estimation algorithms • understand Gaussian mixture models and expectation-maximization • apply principal component analysis and independent component analysis • assess different estimation algorithms • explain the application of machine learning to system identification • apply hidden Markov models • understand different artificial neural network architectures • explain deep learning principles • apply artificial neural networks • devise learning strategies for deep neural networks • assess the application of deep neural networks for speech processing tasks.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literature: • C. M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, http://www.research.microsoft.com/en-us/um/people/cmbishop/PRML • S. Theodoridis and K. Koutroumbas: Pattern Recognition • M. Nielsen: Neural Networks and Deep Learning.

1	Module name 93601	Information Theory and Coding / Informationstheorie und Codierung Information theory and coding	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Informationstheorie und Codierung - Übung (1 SWS) Vorlesung: Informationstheorie und Codierung (3 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Johanna Fröhlich Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller
5	Contents	1. Introduction: binomial distribution, (7,4)-Hamming code, parity-check matrix, generator matrix 2. Probability, entropy, and inference: entropy, conditional probability, Bayes law, likelihood, Jensens inequality 3. Inference: inverse probability, statistical inference 4. The source coding theorem: information content, typical sequences, Chebychev inequality, law of large numbers 5. Symbol codes: unique decidability, expected codeword length, prefix-free codes, Kraft inequality, Huffman coding 6. Stream codes: arithmetic coding, Lempel-Ziv coding, Burrows-Wheeler transform 7. Dependent random variables: mutual information, data processing lemma 8. Communication over a noisy channel: discrete memory-less channel, channel coding theorem, channel capacity 9. The noisy-channel coding theorem: jointly-typical sequences, proof of the channel coding theorem, proof of converse, symmetric channels 10. Error-correcting codes and real channels: AWGN channel, multivariate Gaussian pdf, capacity of AWGN channel 11. Binary codes: minimum distance, perfect codes, why perfect codes are bad, why distance isnt everything 12. Message passing: distributed counting, path counting, low-cost path, min-sum (=Viterbi) algorithm 13. Exact marginalization in graphs: factor graphs, sum-product algorithm 14. Low-density parity-check codes: density evolution, check node degree, regular vs. irregular codes, girth 15. Lossy source coding: transform coding and JPEG compression -- 1. Einleitung: Binomialverteilung, (7,4)-Hamming-Code, Paritätsmatrix, Generatormatrix 2. Wahrscheinlichkeit, Entropie und Inferenz: Entropie, bedingte Wahrscheinlichkeit, Bayessches Gesetz, Likelihood, Jensensche Ungleichung 3. Inferenz: Inverse Wahrscheinlichkeit, statistische Inferenz 4. Das Quellencodierungstheorem: Informationsgehalt, typische Folgen, Tschebyschevsche Ungleichung, Gesetz der großen Zahlen

		5. Symbolcodes: eindeutige Dekodierbarkeit, mittlere Codewortlänge, präfixfreie Codes, Kraftsche Ungleichung, Huffman-codierung 6. Stromcodes: arithmetische Codierung, Lempel-Ziv-Codierung, Burrows-Wheeler-Transformation 7. Abhängige Zufallsvariablen: Transinformation, Datenverarbeitungslemma 8. Kommunikation über gestörte Kanäle: diskreter gedächtnisloser Kanal, Kanalcodierungstheorem, Kanalkapazität 9. Das Kanalcodierungstheorem: verbundtypische Folgen, Beweis des Kanalcodierungstheorems, Beweis des Umkehrsatzes, symmetrische Kanäle 10. Fehlerkorrigierende Codes und reale Kanäle: AWGN-Kanal, mehrdimensionale Gaußsche WDF, Kapazität des AWGN-Kanals 11. Binäre Codes: Minimaldistanz, perfekte Codes, Warum perfekte Codes schlecht sind, Warum Distanz nicht alles ist 12. Nachrichtenaustausch: verteiltes Zählen, Pfadzählen, günstigster Pfad, Minimumsummenalgorithmus 13. Exakte Marginalisierung in Graphen: Faktorgraph, Summenproduktalgorithmus 14. LDPC-Codes: Dichteevolution, Knotenordnung, reguläre und irreguläre Codes, Graphumfang 15. Verlustbehaftete Quellencodierung: Transformationscodierung und JPEG-Kompression
6	Learning objectives and skills	The students apply Bayesian inference to problems in both communications and everyday's life. The students explain the concept of digital communications by means of source compression and forward-error correction coding. For the design of communication systems, they use the concepts of entropy and channel capacity. They calculate these quantities for memoryless sources and channels. The students prove both the source coding and the channel coding theorem. The students compare various methods of source coding with respect to compression rate and complexity. The students apply source compression methods to measure mutual information. The students factorize multivariate functions, represent them by graphs, and marginalize them with respect to various variables. The students explain the design of error-correcting codes and the role of minimum distance. They decode error-correcting codes by means of maximum-likelihood decoding and message passing. The students apply distributed algorithms to problems in both communications and everyday's life. The students improve the properties of low-density parity-check codes by widening the girth and/or irregularity in the degree distribution. The students transform source images into the frequency domain to improve lossy compression. --

		Die Studierenden wenden Bayessche Inferenz auf Probleme in der Nachrichtentechnik und im Alltagsleben an. Die Studierenden erklären die konzeptuelle Trennung von digitaler Übertragung in Quellen- und Kanalcodierung. Kommunikationssysteme entwerfen sie unter Betrachtung von Entropie und Kanalkapazität. Sie berechnen diese Größen für gedächtnislose Quellen und Kanäle. Die Studierenden beweisen sowohl das Quellen- als auch das Kanalcodierungstheorem. Die Studierenden vergleichen verschiedenartige Quellencodierungsverfahren hinsichtlich Komplexität und Kompressionsrate. Die Studierenden verwenden Quellencodiervverfahren zur Messung von Transinformation. Die Studierenden faktorisieren Funktionen mehrerer Veränderlicher, stellen diese als Graph dar und marginalisieren sie bezüglich mehrerer Veränderlicher. Die Studierenden erklären den Entwurf von Kanalcodes und den Einfluss der Minimaldistanz. Sie decodieren Kanalcodes gemäß maximaler Likelihood und Nachrichtenaustausch. Die Studierenden wenden verteilte Algorithmen auf Probleme der Nachrichtentechnik und des Alltagslebens an. Die Studierenden verbessern die Eigenschaften von LDPC-Codes durch Erhöhung des Umfangs und/oder durch irreguläre Knotenordnungsverteilungen. Die Studierenden transformieren Bildquellen zur Verbesserung verlustbehafteter Kompression in den Frequenzbereich.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

16	Bibliography	MacKay, D.: Information Theory, Inference, and Learning Algorithms, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

1	Module name 96010	Architekturen der digitalen Signalverarbeitung Architectures for digital signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übungen zu Architekturen der Digitalen Signalverarbeitung (2 SWS) Vorlesung: Architekturen der Digitalen Signalverarbeitung (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Sebastian Peters Timo Maiwald	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	Inhalt: • Basis-Algorithmen der Signalverarbeitung (FFT, Fensterung, Digitale FIR- und IIR-Filter) • Nichtideale Effekte bei Digitalfiltern (Quantisierung der Filterkoeffizienten, Quantisierte Arithmetik) • CORDIC-Architekturen • Architekturen für Multiraten-systeme (Abtastratenumsetzer) • Architekturen digitaler Signalgeneratoren • Maßnahmen zur Leistungssteigerung (Pipelining) • Architekturen digitaler Signalprozessoren • Anwendungen Content: • Basic algorithms of signal processing (FFT, windowing, digital FIR and IIR-filters) • Non-idealities of digital filters (quantization of filter coefficients, fixed-point arithmetic) • CORDIC-architectures • Architectures of systems with multiple sampling rates (conversion between different sampling rates) • Digital signal generation • Measures of performance improvement (pipelining) • Architecture of digital signal processors • Applications
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Grundlagenkenntnisse der Signaltheorie und können zeit- und wertkontinuierliche sowie zeit- und wertdiskrete Signale im Zeit- und Frequenzbereich definieren und erklären Die Studierenden sind in der Lage, ein klassisches Echtzeitsystem zur digitalen Signalverarbeitung konzeptionieren und die Einzelkomponenten nach den Anforderungen zu dimensionieren Die Studierenden erlangen einen Überblick über Vor- und Nachteile analoger sowie digitaler Signalverarbeitung Die Studierenden verstehen die Theorie der Fourier-Transformation und sind in der Lage, die Vorteile der Fast-Fourier-Transformation in der digitalen Signalverarbeitung zu verstehen und anzuwenden Die Studierenden können digitale Filter dimensionieren und beurteilen ===Englisch=== Students

		• can obtain fundamentals of signal theory and can define as well time-continuous and value-continuous as time-discrete and value-discrete signals in time and frequency domain • can construct a realtime digital signal processing system and dimension its components according requirements • can review pros and cons of analogue versus digital signal processing • can apply fourier transformation and illustrate the advantages of fast fourier transformation in the context of digital signal processing • can dimension digital filters and evaluate their performance
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination (60 minutes) Klausur (E-Exam 60 Min.)
11	Grading procedure	Electronic examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96090	Digitale elektronische Systeme Digital electronic systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Digitale elektronische Systeme (3 SWS) Übung: Übungen zu Digitale elektronische Systeme (1 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Torsten Reißland Albert-Marcel Schrotz Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel
5	Contents	• Analog-Digital-Umsetzer: Qualitätsmerkmale, Messtechnik, Hardwarearchitekturen • Digital-Analog-Umsetzer: Qualitätsmerkmale, Messtechnik, Hardwarearchitekturen • Programmierbare Logikschaltungen (PLD, FPGA): Grundlegende Konzepte, Kategorien, Hardwarearchitekturen • Digitale-Filter: Theorie, Eigenschaften, Entwicklung und Implementierung und IIR und FIR Filtern
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden verstehen die Hardwarearchitekturen und Funktionsweisen von Komponenten digitaler Elektronischer Systeme wie Digital-Analog-Umsetzer, Analog-Digital Umsetzer, PLDs und FPGAs und können diese erläutern • Die Studierenden Verstehen die Qualitätsmerkmale von Digitalen Elektronischen Komponenten, können diese auf konkrete Komponenten anwenden und somit die Qualität von digitalen Elektronischen Komponenten anhand der in Datenblättern typischer weise gegebenen Qualitätsmerkmale evaluieren • Die Studierenden können die Einflüsse von nichtidealen Bauelementen auf digitale elektronische Systeme analysieren • Die Studierenden verstehen die Funktion, die Eigenschaften, die Entwicklungsmethodik sowie die Implementierung von digitalen Filtern und könne diese erläutern
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96101	Integrierte Navigationssysteme Integrated navigation systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Jörn Thielecke	
5	Contents	1. Überblick • Von der Astronavigation zur Navigation mit Mikroelektronik • Messprinzipien & Positionsrechnung (Standlinien/-flächen) • Begriffsdefinitionen (s. US Federal Radionavigation Plan), Genauigkeit, Verfügbarkeit, Verlässlichkeit, Integrität, etc. • Systematische Strukturierung des Gebiets: siehe 2. bis 7. 2. Positions- und Lagebestimmung • Funkausbreitung und Funkortung (Beispiel WLAN) • Fingerabdruckverfahren • Lokalisierung mit Markovketten 3. Koppelnavigation (Tracking) mittels Trägheitsnavigation • Koordinatensysteme und ihre Einsatzgebiete • Mathematische Grundlagen, z.B. Quaternionen, Corioliseffekt • Strapdown Inertial Navigation Systems • Sensorprinzipien und Trägheitssensoren • Computergestützte Lösung der Navigationsgleichungen • System- und Fehlermodellierung im Zustandsraum • Das Kalmanfilter und Glättung mittels Retrodiktion 4. Seiteninformationen: Kinematik und Karten (kurze Übersicht) 5. Landmarken als lokaler Ortsbezug • Merkmalsbasierte Ortung z.B. mit Kamera oder UWB • Partikelfilter und Monte-Carlo-Integration 6. Integration von Navigationskomponenten: Sensordatenfusion • Fusionsarchitekturen: Beispiel GPS & Trägheitsnavigation 7. Einbettung von Navigationssystemen • Assisted GPS oder Location Based Service Anmerkung: Die Navigationsmethoden werden gleichermaßen anhand von Tafel- und Rechnerübungen (MATLAB) einstudiert	
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, typische Navigationsverfahren hinsichtlich ihrer Funktionsweise und Einsetzbarkeit zu analysieren, zu bewerten und weiterzuentwickeln. 2. Die Studierenden lernen Navigationsgleichungen selbst aufzustellen, anzuwenden und mit unterschiedlichen Algorithmen auf dem Computer zu lösen. 3. Die Studierenden entwickeln ein Verständnis für die Herausforderungen bei der Integration unterschiedlicher Teilsysteme zu einem Navigationssystem und der Einbettung von Navigationssystemen in übergeordnete Systeme	

7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, geeignet für Masterstudium, grundlegende Kenntnisse erforderlich in: linearer Algebra, Physik, Signal- & System-theorie, Wahrscheinlichkeitstheorie.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral
11	Grading procedure	Written or oral (100%) Bei bestandener Prüfung wird die Note um eine Teilnotenstufe (z.B. von 2,0 auf 1,7) verbessert, wenn Sie mindestens 75% der Hausaufgaben einschließlich der Rechnerübungen erfolgreich absolviert haben. Eine Note besser als 1,0 wird nicht vergeben.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Lehrveranstaltung.

1	Module name 96200	Entwurf von Mixed-Signal-Schaltungen Design of mixed-signal circuits	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übungen zu Entwurf von Mixed-Signal-Schaltungen (2 SWS) Vorlesung: Entwurf von Mixed-Signal-Schaltungen (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Feim Ridvan Rasim Tobias Rumpel Xingzhou Chen Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler	

4	Module coordinator	Peter Meisel Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler
5	Contents	Es werden Methoden zur Analyse und Synthese von Phänomenen behandelt, welche aus sogenannten Rückkopplungen in gemischt analog-digitalen Systemen entstehen. Es wird an Hand eines allgemeinen Transistormodells abstrahiert, und Beispiele aus der Integrierten Schaltungs- und Systemtechnik erarbeitet. • Modellierung aktiver Bauelemente • Grundsaltungen des allgemeinen Transistors • Abstraktion der Rückkopplung • Analyse der Stabilität im Frequenz- und Zeitbereich • Kompensationstechniken im Frequenzbereich • Grundsaltungen von Rückkopplungen • Harmonische Verzerrungen • Rauschen • Beispiele von Rückkopplungen
6	Learning objectives and skills	Analysieren • Die Studierenden können die verschiedenste Strukturen für analoge integrierte Schaltungen entwickeln, analysieren und bewerten. Erschaffen • Die Studierenden gewinnen einen Überblick über die wichtigsten Methoden und Verfahren für Analyse und Entwurf von analogen rückgekoppelten Schaltungen.
7	Prerequisites	Schaltungstechnik, Entwurf Integrierter Schaltungen I, o.ä.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Schriftliche Prüfung Dauer: 90 Minuten
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	G. Palumbo, S. Pennisi, Feedback Amplifiers, Theory and Design, Springer 2009

1	Module name 96500	Analoge elektronische Systeme Analogue electronic systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel
5	Contents	• Feldeffekttransistor • Verstärker, Leistungsverstärker • Nichtlinearität und Verzerrung • Filtertheorie • Realisierung von Filtern • Intrinsisches Rauschen (Konzepte) • Physikalische Rauschursachen • Rauschparameter • Mischer • Oszillatoren • Phasenregelschleifen (PLLs)
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden erlangen Kenntnisse um Rauscheffekte und Nichtlinearitäten in Analogschaltungen zu erklären • Die Studierenden verstehen die Ursachen verschiedener physikalischer Rauschprozesse und können diese klassifizieren • Die Studierenden erwerben die Fähigkeit zur Planung und Implementierung frequenzumsetzender Systeme mittels zugehöriger Frequenz- und Pegelpläne • Die Studierenden bewerten Hochfrequenzoszillatoren und stabilisierende PLL-Schaltungen • Die Studierenden untersuchen Messaufbauten zur Charakterisierung von Rauschen und Nichtlinearitäten • Die Studierenden analysieren den inneren Aufbau von Leistungsverstärkern auf Basis von Transistorschaltungen • Die Studierenden sind in der Lage komplexe Analogschaltungen simulativ und analytisch zu untersuchen und deren Verhalten im Groß- und Kleinsignalbereich zu charakterisieren • Die Studierenden führen Filterentwürfe durch und bestimmen deren Amplituden- und Phasengang • Die Studierenden können bei auftretenden Problemen selbstständig mit Hilfe weitergehender Literatur oder durch Diskussion in der Gruppe Lösungen erarbeiten
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 43195	Reconfigurable Computing Reconfigurable computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Content: Reconfigurable (adaptive) computing is a novel yet important research field investigating the capability of hardware to adapt to changing computational requirements such as emerging standards, late design changes, and even to changing processing requirements arising at run-time. Reconfigurable computing thus benefits from a) the programmability of software similar to the Von Neumann computer and b) the speed and efficiency of parallel hardware execution. The purpose of the course reconfigurable computing is to instruct students about the possibilities and rapidly growing interest in adaptive hardware and corresponding design techniques by providing them the necessary knowledge for understanding and designing reconfigurable hardware systems and studying applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. After a general introduction about benefits and application ranges of reconfigurable (adaptive) computing in contrast to general-purpose and application-specific computing, the following topics will be covered: • Reconfigurable computing systems: Introduction of available technology including fine grained look up table (LUT-) based reconfigurable systems such as field programmable gate arrays (FPGA) as well as newest coarse grained architectures and technology. • Design and implementation: Algorithms and steps (design entry, functional simulation, logic synthesis, technology mapping, place and route, bit stream generation) to implement (map) algorithms to FPGAs. The main focus lies on logic synthesis algorithms for FPGAs, in particular LUT technology mapping. • Temporal partitioning: techniques to reconfigure systems over time. Covered are the problems of mapping large circuits which do not fit one single device. Several temporal partitioning techniques are studied and compared. • Temporal placement: Techniques and algorithms to exploit the possibility of partial and dynamic (run-time) hardware reconfiguration. Here, OS-like services are needed that optimize the allocation and scheduling of modules at run-time. • On-line communication: Modules dynamically placed at run-time on a given device need to communicate as well as transport data off-chip. State-of-the-art techniques are introduced how modules can communicate data at run-time

		including bus-oriented as well as network-on-a-chip (NoC) approaches. • Designing reconfigurable applications on Xilinx Virtex FPGAs: In this part, the generation of partial bitstreams for components to be placed at run-time on Xilinx FPGAs is introduced and discussed including newest available tool flows. • Applications: This section presents applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. It covers the use of reconfigurable systems including rapid prototyping, reconfigurable supercomputers, reconfigurable massively parallel computers and studies important application domains such as distributed arithmetic, signal processing, network packet processing, control design, and cryptography.
6	Learning objectives and skills	Learning objectives and competencies: Domain-specific knowledge • The students know to exploit run-time reconfigurable design methodologies for adaptive applications. Domain-specific comprehension • The students understand the mapping steps and optimization algorithms. • The students classify different types and kinds of reconfigurable hardware technologies available today. • The students clarify pros and cons of reconfigurable computing technology. • The students summarize applications benefiting from reconfigurable computing. • The students describe the design of circuits and systems-on-a-chip (SoC) on FPGAs.
7	Prerequisites	Selection of this module prohibits the selection of the modules "Reconfigurable Computing (Lecture with Exercises)", "Reconfigurable Computing (Lecture with Extended Exercises)", or "Reconfigurable Computing with extended exercises" by the student.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Oral exam in case of less than 20 participants (duration 30 mins). Otherwise, written exam (duration 90 mins).
11	Grading procedure	Variable (100%) The exam determines the final grade of the module.
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Further reading material: • The Hamburg VHDL Archive (see Documentation link for free books) http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/research/vlsi/vhdl/index.php • Interactive VHDL Tutorial with 150 examples from ALDEC http://www.aldec.com/downloads/ • Easy FPGA tutorials, projects, and boards http://www.fpga4fun.com • Xilinx WebPack ISE and Modelsim MXE (free FPGA synthesis tool and free VHDL simulator) http://www.xilinx.com/ise/logic_design_prod/webpack.htm • Symphony EDA free VHDL simulator (select FREE Edition license) http://www.symphonyeda.com/products.htm • Icarus open-source Verilog simulator http://www.icarus.com/eda/verilog/ Further information: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/reconfigurable-computing/

1	Module name 43950	Kommunikationssysteme Communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Aus Rechnerkommunikation ist der grundlegende Aufbau von IP-basierten Netzen bekannt, Inhalt von Kommunikationssysteme sind weitere Netztechnologien wie Leitungsvermittlung (Telefonnetze, Sonet/ SDH/WDM) und Netze mit virtueller Leitungsvermittlung (ATM, MPLS) sowie Netzwerkvirtualisierung (SDN, NFV), Multimediakommunikation über paketvermittelte Netze (Streaming, RTP, SIP, Multicast), Dienstgüte in paketvermittelten Netzen (Integrated Services, RSVP, Differentiated Services, Active Queue Management, Policing, Scheduling), drahtlose und mobile Kommunikation (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, ZigBee u.a. Sensornetze). Auch Kommunikation in der Industrie wird behandelt. In der Übung werden praktische Aufgaben im Labor durchgeführt: ein Labor enthält mehrere IP-Router, Switches und Rechner, IP-Telefone und Telefonie-Software für VoIP, es werden verschiedene Konfigurationen eingestellt und getestet. Ein weiterer Übungsteil beschäftigt sich mit Mobilkommunikation. *Contents:* Based on the course computer communications the architecture of IP networks is known. Contents of this course will be additional networking technologies such as circuit switching (telephony, SONET/ SDH/WDM) and networks with virtual circuit switching (ATM, MPLS) as well as network virtualization (SDN, NFV), multimedia communications over packet switched networks (streaming, RTP, SIP, multicast), quality-of-service in packet switched networks (integrated services, RSVP, differentiated services, active queue management, policing, scheduling), wireless and mobile communications (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, sensor networks such as ZigBee). Industrial communication will also be a topic. In the tutorial practical tasks are performed in the laboratory: One laboratory contains several IP routers, switches and computers, IP phones and VoIP telephone software. Various configurations are set up and tested. Another part of the tutorial deals with mobile communications.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Kenntnisse über Technologien bei der Leitungs- und Paketvermittlung in leitungsgebundenen und drahtlosen/mobilen Netzen Kenntnisse über die Grundlagen von Dienstgütemechanismen in paketvermittelten Netzen praktische Erfahrung in der Konfiguration eines IP-Switch-Router-Netzes mit Multimediaverkehr Students obtain the following learning targets and competences

		Knowledge of technologies in circuit and packet switching in wired and wireless/mobile networks Knowledge of the foundations of quality of service mechanisms in packet switched networks Practical experience in configuring an IP switch router network with multimedia traffic
7	Prerequisites	Basic knowledge of working with the Linux command line interface (terminal).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Prüfungsleistung, Klausur, Dauer (in Minuten): 90, benotet, 5 ECTS Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100.0 % Die Modulprüfung besteht aus: • Bearbeitung (zwei)wöchentlicher Aufgabenblätter in Gruppenarbeit. Für diese unbenotete Studienleistung sind alle Aufgabenblätter korrekt zu lösen und abzugeben. • Klausur von 90 Minuten
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7th Ed., Pearson Education, 2017 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pearson Education, 2016 Cox. An Introduction to LTE. Wiley, 2012

1	Module name 44240	Grundlagen des Übersetzerbaus Foundations of compiler construction	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Michael Philippsen
5	Contents	[Deutsch:] Auf den ersten Blick erscheint es wenig sinnvoll, sich mit Übersetzerbau zu beschäftigen. Andere Themen scheinen wesentlich näher an der direkten Anwendbarkeit in der industriellen Praxis. Der erste Blick täuscht: • Übersetzer gehören wohl zu den am gründlichsten studierten mittelgroßen sequentiellen Software-Systemen. Man kann viel aus den Erfahrungen lernen, die im Laufe der Jahre gesammelt wurden. • In den Übungen, die die Vorlesung begleiten, werden Sie selbst einen (kleinen) Übersetzer entwickeln. • Für viele Teilnehmer wird dieses Projekt das erste größere Software-Projekt sein. Viele der Algorithmen aus dem Grundstudium werden angewendet. • Bei jedem von Ihnen verwendeten Übersetzer gehen Sie in der Regel davon aus, dass richtiger Coder erzeugt wird. In der Vorlesung erfahren Sie, wie das geforderte hohe Maß an Korrektheit und Zuverlässigkeit erreicht wird. • Sie erlangen ein Verständnis für Konzepte von Programmiersprachen und verstehen, welcher Maschinen-Code aus Sprachkonstrukten gemacht wird. Mit diesem Wissen im Hinterkopf verbessern Sie Ihre Fähigkeit, gute und effiziente Programme zu schreiben. • Übersetzer werden nicht nur für Programmiersprachen benötigt. Spezielle Übersetzer braucht man in vielen Bereichen des täglichen Informatik-Lebens z.B. zur Textformatierung, für Programmtransformationen, für aspektorientiertes Programmieren, für die Verarbeitung von XML, ... • Es gehört zu einer Ingenieur-Ausbildung, in der Lage zu sein, diejenigen Werkzeuge selbst zu fertigen, die man verwendet. Für Informatiker gehört daher ein Verständnis vom Innenleben eines Übersetzers zum Rüstzeug. Fokus der Lehrveranstaltung: Es werden Konzepte und Techniken der Übersetzerkonstruktion aus Sicht eines Übersetzerbauers und entlang der wesentlichen Arbeitsschritte eines Übersetzers (Frontend; Mittelschicht; Backend) vorgestellt. Übungen und Praxisaufgaben ergänzen die Vorlesung. Hier entwickeln die Studierenden auf der Basis eines vorgegebenen Programmrahmens einen eigenen Übersetzer für

die Programmiersprache e2, die speziell für den Übersetzerbau-Vorlesungszyklus entworfen wurde.

Behandelte Themenfelder:

- Prinzipien der Übersetzung imperativer Programmiersprachen
- Struktur eines Übersetzers
- Symbolentschlüssler (Scanner) und Zerteiler (Parser)
- Abstrakter Syntaxbaum (AST)
- Besuchermuster
- AST-Transformationen, Entzuckerung
- Symboltabellen und Sichtbarkeitsbereiche
- Semantische Analyse: Namensanalyse, Typprüfung
- Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken und Kontrollflusskonstrukten in registerbasierte oder stapelbasierte Zwischensprachen
- Übersetzung von Methoden und Methodenaufrufen; Methodenschachteln
- Übersetzung objektorientierter Sprachen mit Einfachvererbung, Schnittstellen und Mehrfachvererbung
- Methodenauswahl in Java (überladene und überschriebene Methoden)
- Code-Generierung nach Sethi-Ullmann, Graham-Glanville, per Baumtransformation sowie mit Hilfe dynamischer Programmierung
- Registerallokation mit lokalen Techniken und mit Graphfärbung
- Instruktionsanordnung mit "list scheduling"
- Debugger

Themen der Vorlesungseinheiten:

1. Einführung (Überblick, modulare Struktur von Übersetzern, Frontend, Mittelschicht, Backend), Bootstrapping)
2. Symbolentschlüssler (Lexer) und Zerteiler (Parser), (Token, Literale, Symboltabelle, Grammatikklassen (LK(k), LL(k), ...), konkreter Syntaxbaum, Shift-Reduce-Parser)
3. AST und semantische Analyse (abstrakter Syntaxbaum, Besuchermuster, Double Dispatch, Sichtbarkeitsbereiche, Definitionstabelle)
4. Typkonsistenz (Typsicherheit, Typsystem, Typüberprüfung, Typberechnung, Typkonvertierung, attributierte Grammatiken)
5. AST-Transformationen (Transformationsschablonen für Ausdrücke, Transformation innerer und generischer Klassen)
6. Transformation in Zwischensprache (registerbasiert versus stapelbasiert, Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken, Zuweisungen, mehrdimensionalen Feldern, struct-Datentypen und Kontrollflussstrukturen (einschließlich Kurzschlussauswertung))
7. Methodenschachteln und Kellerrahmen (relative Adressen, call by value/reference/name, geschachtelte Funktionen, Funktionszeiger, Stack- und Framepointer, Funktionsaufruf, Prolog, Epilog)
8. Objektorientierte Sprachen I: Einfachvererbung (Symbol- und Typanalyse, Methodenauswahl mit Überschreiben und Überladen,

virtuelle Methodenaufrufe, Klassendeskriptoren, dynamische Typprüfung und -wandlung)

9. Objektorientierte Sprachen II: Schnittstellen und Mehrfachvererbung (Interface v-Tables, dynamische Typprüfung und -wandlung mit Interfaces, Interfaces mit Default-Implementierung, Diamantenproblem)

10. Einfache Code-Erzeugung (Code-Selektion nach Sethi-Ullman, Register-Allokation, Instruktionsreihenfolge, optimale Code-Erzeugung für Ausdrucksbäume)

11. Fortgeschrittene Code-Erzeugung (Baumtransformation, Graham-Glanville, dynamisches Programmieren)

12. Registerallokation (Leistungsabschätzung, Lebendigkeitsintervalle, Kollisions- und Interferenzgraph, Spilling, Färbungsheuristiken, Aufteilung von Lebendigkeitsintervallen, 2nd Chance Bin Packing, Registerverschmelzung)

13. Parallelismus auf Instruktionsebene, Instruktionsreihenfolge, Debugger (Konflikte im Instruktionsfließband, List Scheduling, Delay-Slots, Sprungzielvorhersage, ptrace, Unterbrechungs- und Beobachtungspunkte, DWARF)

Meilensteine der Übungsbetriebs:

Im Rahmen der Übungen (siehe entsprechende Lehrveranstaltung) werden die in der Vorlesung vorgestellten Konzepte und Techniken zur Implementierung eines Übersetzers in die Praxis umgesetzt. Ziel der Übungen ist es, bis zum Ende des Semesters einen funktionsfähigen Übersetzer für die Beispiel-Programmiersprache e2 zu implementieren. Ein Rahmenprogramm ist gegeben, das in fünf Meilensteinen um selbstentwickelte Schlüsselkomponenten zu erweitern ist.

Folgende Meilensteine sind zu erreichen:

Meilenstein 1: Grammatik, AST-Konstruktion: Antlr-Produktionen, AST-Besucherschnittschelle, generischer AST-Besucher für return und Schleifen, AST-Besucher zur Visualisierung.

Meilenstein 2: Symbolanalyse, Symboltabelle, Standardfunktionen, AST-Besucher für die Symbolanalyse.

Meilenstein 3: Konstantenfaltung per AST-Transformation, Typanalyse mit bottom-up AST-Besuch, der implizite Typwandlungen bei Bedarf ergänzt.

Meilenstein 4: AST-Besucher zur Erzeugung der Zwischensprachrepräsentation, Übersetzung von arithmetischen Ausdrücken, return, Zuweisungen, logischen Ausdrücken, Bedingungen und Schleifen.

Meilenstein 5.0: Speicherzuteilung: Festlegung und Umsetzung der ABI Aufrufkonvention, Zuweisung von Speicheradressen zu Variablen; Kellerrahmenallokation; caller-save und callee-save Register.

Meilenstein 5.1: Code-Erzeugung: Implementierung der e2 Standardbibliothek; IR-Besucher zur Erzeugung von Assembly-Code.

Für die Meilensteine 1-3 soll der Übersetzer sowohl Integer- als auch Gleitkomma-Arithmetik unterstützen. Für die nachfolgenden Meilensteine reicht Integer-Arithmetik.

[English:]

The lecture teaches concepts and techniques of compiler construction from a compiler developer view, following the structure of the compiler frontend, middle end, and backend. Exercise sessions and practical assignments complement the lecture; the students implement their own compiler (based on a framework) for the e2 programming language, which is designed for this series of compiler construction lectures.

Content Summary

- Principles of compiling imperative programming languages
- Structure of a compiler
- Scanner and parser
- Abstract syntax trees (ASTs)
- Visitor design pattern
- AST transformations, desugaring
- Symbol tables and scopes
- Semantic analysis: name analysis, type checking
- Compilation of arithmetic expressions and control flow structures to register-based and stack-based intermediate languages
- Compilation of functions and function calls, activation records
- Compilation of object-oriented languages with single inheritance, interfaces, and multiple inheritance
- Method resolution in Java (overloaded and overridden methods)
- Code generation with Sethi-Ullmann algorithm, Graham-Glanville algorithm, tree transformations, and dynamic programming
- Register allocation with local techniques and graph coloring
- Instruction scheduling with the list scheduling technique
- Debuggers

Lecture Topics

- 1. Introduction: Class overview, modular structure of compilers (front-, middle-, and backend), compilation bootstrapping
- 2. Lexer and Parser: Tokens, literals, symbol table, grammar classes (LR(k), LL(k), ...), concrete syntax tree, shift-reduce parser
- 3. ASTs and semantic analysis: Abstract syntax tree, visitor pattern, double dispatch, scopes, definition table
- 4. Type consistency: Type safety, type system, type checks, type inference, type conversions, attributed grammars
- 5. AST transformations: Transformation patterns (arithmetics), transformation of nested and generic classes
- 6. Intermediate representations: Types of IRs, arithmetic operations, assignments, multidimensional array access, structs, control flow instructions, short-circuit evaluation
- 7. Activation record and stack frame: Relative addresses, call by value/reference/name, nested functions, function pointers, stack pointer and frame pointer, function calls: prolog and epilog

- 8. Object-oriented languages: single inheritance: Symbol and type analysis, method selection with method overloading and overriding, virtual method calls, class descriptors, dynamic type checks and casts
- 9. Object-oriented languages II: interfaces, multiple inheritance: Interface v-tables, dynamic type checks and casts with interfaces, interfaces with default implementations and state, diamond problem, virtual inheritance
- 10. Basic code generation: Code selection, register allocation, instruction order, basic blocks, optimal code generation for expression trees
- 11. Optimized code selection: Code selection as tree transformation, Graham-Glanville code generators, dynamic programming
- 12. Optimized register allocation: Performance approximations, liveness analysis, collision and interference graph, register spilling, coloring heuristics, optimistic extension, live range splitting, register coalescing, data structures
- 13. Instruction level parallelism, instruction order, debugger: Data, structural, and control conflicts in CPU pipelines, list scheduling, delay slots, branch predictions, superscalar and VLIW architectures, ptrace, break- and watch-points, DWARF

Assignment Milestones

For the assignments of this course, the students put the concepts and techniques presented in the lecture for implementing a compiler into practice. The goal of the assignments is to implement a functional compiler for the e2 programming language by the end of the semester. The e2 language is specifically designed for educational purposes; the students obtain a description of the language.

A framework for the implementation is provided to the students. The students implement the core components of the compiler in five milestones.

All milestones need to be fulfilled to pass the module; the last milestone contains two tasks. In particular, the milestones are:

- Milestone 1: Grammar definition and construction of the AST: ANTLR productions, AST visitor interface, and generic AST visitor for array accesses and return and loop statements; AST visitor for AST visualization.
- Milestone 2: Name analysis: symbol table; declaring standard functions; AST visitor for name analysis.
- Milestone 3: Constant folding and type analysis: AST transformations for constant folding; AST visitor for bottom-up type analysis, adding AST nodes for implicit casts;
- Milestone 4: AST translation to intermediate representation: AST visitor to generate IR; translation of arithmetic, return, and assign statements, logical expressions, conditions, loops.
- Milestone 5.0: Memory assignment: definition and implementation of the ABI calling convention; memory

		assignment of variables; stack frame allocation; caller-save and callee-save registers. • Milestone 5.1: Code generation: implementation of the e2 standard library; IR visitor to generate assembly code. For milestones one through three, the compiler needs to support both integer and floating-point arithmetic. For the last two milestones, only integer arithmetic is required.
6	Learning objectives and skills	[Deutsch:] Die Studierenden • nennen die typischen Aufgaben und Datenstrukturen eines Übersetzers • erläutern das Konzept des Bootstrapping • beschreiben Struktur und Arbeitsweise eines Abtasters (Scanner) und zeigen Grenzen und Problemfälle auf • wenden Grammatiken zur Konstruktion von Zerteilern (Parser) an • kennen die Komplexität eines Zerteilers für Java • beschreiben die wichtigsten Aufgaben der semantischen Analyse und wenden diese am Beispiel verschiedener Programmiersprachen (insbesondere Java) an • skizzieren typische AST-Transformationen am Beispiel des Java-Übersetzers • veranschaulichen die Grundzüge der Java-Kellermaschine und die zugehörige Transformation von Quell- zu Byte-Code • analysieren die Unterschiede zwischen Programmiersprachen hinsichtlich Felder und Verbund-Strukturen • erläutern die Verwendung von Stapel- und Kellerspeicher bei der Programmausführung • kennen verschiedene Maschineninstruktionssätze • optimieren die Registerverwendung vor der Generierung von Maschinencode • wenden das Verfahren von Graham & Glanville zur Erzeugung von Maschinencode an • erkennen Grenzen der Optimierung bei der Code-Generierung und analysieren alternative Strategien • beschreiben den Unterschied zwischen statischer und dynamischer Ablaufplanung • untersuchen Besonderheiten des Übersetzerbaus für objekt-orientierte Sprachen • ergänzen einen vorgegebenen Abtaster und abstrakten Syntaxbaum, um alle Sprachkonstrukte einer Beispielsprache zu unterstützen • implementieren Konstantenfaltung, den Aufbau der Symboltabelle und Typprüfung auf dem abstrakten Syntaxbaum • erzeugen Zwischencode aus dem abstrakten Syntaxbaum • bilden Kontrollstrukturen auf Sprünge ab • veranschaulichen die Adressierung von (mehrdimensionalen) Feldern

- entwickeln Konventionen für Funktionsaufrufe und den Aufbau des Stacks
- berechnen Offsets fuer Variablen auf dem Stack.
- implementieren eine einfache Registervergabe.
- kennen Details verschiedener Prozessorarchitekturen
- generieren Maschinencode für mindestens eine Prozessorarchitektur
- implementieren eine Laufzeitbibliothek
- wenden Debugging für maschinennahen Code an

[English:]

Students who have successfully completed the module will have the ability to

- identify the components and data structures of a compiler
- explain the concept of bootstrapping
- describe the structure and operation of a lexer and show limitations and problem cases
- use grammars for the construction of parsers
- know the complexity of Java parsers
- describe the main tasks of semantic analysis and apply them to different programming languages (especially Java)
- outline typical AST transformations using the Java compiler as an example
- illustrate the basic features of the Java Virtual Machine (JVM) and the corresponding transformation from source to byte code
- analyze the differences between programming languages in terms of arrays and compound structures
- explain the use of stack memory in program execution
- know different machine instruction sets
- optimize register allocation before generating machine code
- apply the Graham-Glanville algorithm to generate machine code
- recognize limitations of optimization in code generation and to analyze alternative strategies
- describe the difference between static and dynamic scheduling
- examine features of compiler construction for object-oriented languages
- augment a given lexer and abstract syntax tree to support all language constructs in an example language
- implement constant folding, symbol table construction, and type checking on the abstract syntax tree
- generate intermediate code from the abstract syntax tree
- map control structures to jumps
- translate compound boolean expressions with shortcut evaluation
- illustrate addressing of (multidimensional) arrays
- design conventions for function calls and stack frame layout
- calculate offsets for stack variables
- implement a basic register allocation.

		• know details of different processor architectures • generate machine code for at least one processor architecture • implement a runtime library • apply debugging to machine code
7	Prerequisites	Participants of this lecture are expected to have profound skills in the following programming languages: • Java (assignments are implemented in Java) • Assembler
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 50 h Independent study: 175 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• "Modern Compiler Implementation in Java", A.W. Appel, Cambridge University Press, 1998 • "Compilers - Principles, Techniques and Tools", A. Aho, R. Sethi, J. Ullmann, Addison-Wesley, 2006 • "Modern Compiler Design", D. Grune, H. Bal, C. Jacobs, Langendoen, Wiley, 2002

1	Module name 44500	Swarm Intelligence	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Rolf Wanka
5	Contents	Swarm Intelligence (SI) is the design and deployment of self-organizing systems that dynamically adapt to their respective environmental needs. These systems are characterized by the fact that they feature the so-called self-*-properties, i.e., they are self-configuring, self-optimizing, self-healing, self-protecting, self-explanatory, ... Structures and methods of biological and other natural systems are chosen as models for such technical systems. In this module, Particle Swarm Optimization, Ant Algorithms, Web Search, and Evolutionary Algorithms are introduced and, as far as possible, mathematically analyzed.
6	Learning objectives and skills	Students learn advanced concepts of the current topic of swarm intelligence and how they can be successfully applied to solve continuous and discrete optimization problems and to data analysis. For this purpose, they know concrete details such as terms, definitions, facts, regularities and theories and learn how to apply the concepts to concrete problems, how to adjust the methods to the use case and how to analyze the computed solutions.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Ch. Müller-Schloer, Ch. von der Malsburg, R. P. Würt. Organic Computing. Informatik-Spektrum, Band 27, Nummer 4, S. 332-336.

		• I. C. Trelea. The particle swarm optimization algorithm: convergence analysis and parameter selection. Information Processing Letters 85 (2003) 317-325. • J. M. Kleinberg. Authoritative sources in a hyperlinked environment. Journal of the ACM 46 (1999) 604-632. • M. Dorigo. V. Maniezzo. A Coloni. Ant system: an autocatalytic optimizing process. Technical Report 91-016, Politecnico di Milano, 1991. • A. Badr. A. Fahmy. A proof of convergence for Ant algorithms. Information Sciences 160 (2004) 267-279. • M. Clerc. J. Kennedy. The particle swarm - Explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 8 (2002) 58-73

1	Module name 97090	Simulation und Modellierung I Simulation and modelling I	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Das Modul vermittelt die Grundlagen der diskreten Ereignissimulation und beinhaltet • diskrete Simulation • analytische Modellierung (z.B. Warteschlangen) • Eingabemodellierung (z.B. Fitting-Verfahren) • Zufallszahlenerzeugung • statistische Ausgabeanalyse • Modellierungsparadigmen (u.a. Ereignis-/Prozessorientierung, Warteschlangen, Automaten, Petri-Netze, UML, graphische Bausteine) • kontinuierliche und hybride Simulation • Simulationssoftware • Fallstudien Content: Overview of the various kinds of simulation • discrete simulation (computational concepts, simulation of queuing systems, simulation in Java, professional simulation tools) • required probability concepts and statistics, modeling paradigms (e.g., event/process oriented, queuing systems, Petri nets, UML statecharts) • input modeling (selecting input probability distributions) • random number generation (linear congruential generators and variants, generating random variates) • output analysis (warm-up period detection, independent replications, result presentation) • continuous and hybrid simulation (differential equations, numerical solution, hybrid statecharts) • simulation software, case studies, parallel and distributed simulation.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erwerben Kenntnisse über Verfahren und Realisierungsmöglichkeiten der diskreten Simulation mit Ausblick auf andere Simulationsarten • erwerben Kenntnisse über statistische Aspekte der Simulation, die für die Anwendung wichtig sind • wenden statistische Methoden zur Analyse und Bewertung von Eingabe- sowie Ausgabedaten an • erwerben praktische Erfahrung mit kommerziellen Simulationswerkzeugen

		• erwerben Erfahrungen bei der Simulation in verschiedenen Anwendungsbereichen (u.a. Rechnernetze, Fertigungssysteme, Materialflusssysteme) • entwickeln eigenständig anhand von Beispielaufgaben Simulationsmodelle unter Verwendung verschiedener Modellierungsparadigmen • können in Gruppen kooperativ und verantwortlich arbeiten Learning targets and competences: Students • gain knowledge about methods and realization possibilities of discrete simulation with an outlook on other types of simulation • gain knowledge of statistical aspects of simulation that are important for practice • apply statistical methods for analysis and evaluation of input and output data • gain hands-on experience with commercial simulation tools • gain experience in simulation in various fields of application (including computer networks, manufacturing systems, material flow systems) • independently develop simulation models on the basis of sample tasks using different modeling paradigms • can work in groups cooperatively and responsibly
7	Prerequisites	elementare Programmierkenntnisse, vorzugsweise in Java, Mathematikkenntnisse in Analysis, wie z.B. im 1. Semester der angewandten Mathematik vermittelt Recommended background knowledge: basic programming skills, preferably in Java, mathematics skills in analysis, such as taught in the first semester in applied mathematics.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Prüfungsleistung/examination: Klausur, benotet, 5 ETCS/written exam, graded, 5 ETCS Dauer (in Minuten)/duration (in minutes): 90 Anteil an der Berechnung der Modulnote/Share in the calculation of the module grade: 100.0 % Die im Rahmen der Übung gestellten (zwei-)wöchentlichen Übungsaufgaben müssen bestanden werden, um das Gesamtmodul anrechnen lassen zu können. Die Übung gilt als bestanden, wenn mindestens 50% der Punkte korrekt bearbeitet wurden. Die Bearbeitung erfolgt in Gruppen von 3 oder 4 Studenten. Die Abgabe erfolgt in Präsenz zu dedizierten Übungsterminen. Wurden mindestens

		70% der Punkte erreicht, wird die Endnote der bestandenen schriftlichen Prüfung entsprechend einer Notenstufe (0.3 oder 0.4) verbessert. Wurden mindestens 90% der Punkte erreicht, wird die Endnote der bestandenen schriftlichen Prüfung entsprechend zwei Notenstufe (0.6 oder 0.7) verbessert. ----- The (bi-)weekly exercise tasks must be passed in order to receive credit for the entire module. The exercise is considered to be passed if at least 50% of the points have been correctly processed. The work is done in groups of 3 or 4 students. The submission is done in presence on dedicated exercise dates. If at least 70% of the points are achieved, the grade of the passed written exam will be improved by one grade level (0.3 or 0.4). If at least 90% of the points are achieved, the grade of the passed written exam will be improved by two grade levels (0.6 or 0.7).
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Law, "Simulation Modeling and Analysis, 5th ed., McGraw Hill, 2014

1	Module name 150033	Betriebssysteme (Vorlesung mit Übungen) Operating systems (lecture with exercises)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Volkmar Sieh
5	Contents	Inhalt des Moduls ist Vermittlung grundlegender Konzepte, Methoden und Techniken von Betriebssystemen aus dem Blickwinkel einer Betriebssystementwicklerin. Im Rahmen der Übungen entwickeln die Studierenden in einem "bottom-up" Entwurf- und Entwicklungsprozess ihr eigenes Einkernbetriebssystem für die IA-32 Plattform, ausgehend von der "nackten Hardware" über grundlegende Ein-Ausgabemöglichkeiten, Unterbrechungsbearbeitung bis hin zu quasiparalleler Programmausführung.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: - erläutern den Startvorgang eines Rechensystems am Beispiel eines x86/x86_64-PCs. - beschreiben die spezifischen Herausforderungen bei der Softwareentwicklung für "bare metal". - beschreiben den Ablauf einer Unterbrechungsbehandlung von der Hardware bis zur (System-)software. - skizzieren Besonderheiten und Strategien der Unterbrechungsbehandlung in Hardware für Mehrkernsystemen am Beispiel des IA32-APICs. - diskutieren die Aufgabenteilung zwischen Hardware und Systemsoftware bei der Unterbrechungsbearbeitung. - unterscheiden die verschiedenen Typen von Kontrollflüssen in einem Betriebssystem anhand des Ebenenmodells. - unterscheiden harte, mehrstufige, und weiche Verfahren zur Unterbrechungssynchronisation in Betriebssystemen und können diese implementieren. - klassifizieren konkrete Konkurrenzsituationen anhand des Ebenenmodells und leiten daraus geeignete Synchronisationsmaßnahmen ab. - schildern die IA32-Architektur und gängige PC-Technologie und deren Schnittstellen zur Systemsoftware. - erläutern grundlegende Bausteine für die Implementierung von Quasi-Parallelität (Fortsetzungen, Koroutinen, Fäden) und grenzen diese gegeneinander ab. - erläutern die Interaktionen zwischen Hardware, Übersetzer und Systemsoftware, die dabei zu beachten sind. - entwickeln den Koroutinenwechsel für einen gegebene Architektur. - erläutern die Implikationen von Quasi-Parallelität auf das Ebenenmodell und die daraus abgeleiteten Synchronisationsmaßnahmen. - beschreiben die Implementierung von (verdrängendem) Scheduling in einem Betriebssystem.

		- analysieren das Zusammenspiel von Scheduling und Unterbrechungssynchronisation. - nennen Kriterien und Dimensionen des Scheduling von Betriebsmitteln, insbesondere der CPU. - erläutern die konkrete Umsetzung am Beispiel der Scheduler in Linux und Windows. - unterscheiden grundlegende Möglichkeiten der Koordinierung und Synchronisation von Fäden (aktives/passives Warten, nichtverdrängbare kritische Abschnitte). - entwickeln Mechanismen für die Synchronisation auf Fadenebene. - erklären die dabei zu beachtenden Synchronisationsprobleme (lost update, lost wakeup) und geeignete Gegenmaßnahmen. - interpretieren die Bedeutung von Gerätetreibern in der Betriebssystempraxis. - erläutern die Anforderungen an ein Treibermodell. - vergleichen die Umsetzung von Treibermodellen in Windows und Linux. - vergleichen grundlegende BS-Architekturen (Bibliothek, Monolith, Mikrokern, Exokern, Hypervisor) anhand fundamentaler Charakteristika (Robustheit, Performanz, Portierbarkeit) und Mechanismen. - schildern die grundlegenden Paradigmen zur Interprozesskommunikation in Betriebssystemen (speicherbasiert vs. nachrichtenbasiert). - erläutern die grundlegenden Primitiven dieser Verfahren. - skizzieren, wie unter Anwendung dieser Primitiven höhere Synchronisationskonstrukte implementiert werden (Monitore, Leser-/Schreiber-Sperre). - illustrieren die Dualität der Paradigmen. - erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Compilerverhalten, Debuggen ohne dedizierte Hilfsmittel) und Fehlerquellen bei der hardwarenahen Softwareentwicklung. - können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. - können die ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. - reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. - können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen.
7	Prerequisites	• C/C++ (Übungsaufgaben werden in C++ implementiert) • Assembler (Grundkenntnisse)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Avi Silberschatz, Peter B. Galvin, Greg Gagne. Operating System Concepts. John Wiley & Sons. • Andrew S. Tanenbaum. Modern Operating Systems. Pearson. • William Stallings. Operating Systems: Internals and Design Principles. Prentice Hall. • Andrew S. Tanenbaum. Structured Computer Organization. Pearson.

1	Module name 169383	CPU Entwurf mit VHDL (Schwerpunkt Prozessorentwurf) CPU Design with VHDL (Focus on CPUs)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 179490	Echtzeitsysteme mit erweiterten Übungen Real-time systems with extended exercises	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Videobearbeitung in Echtzeit, Echtzeitstrategiespiel, echtzeitfähig - der Begriff Echtzeit ist wohl einer der am meisten strapazierten Begriffe der Informatik und wird in den verschiedensten Zusammenhängen benutzt. Diese Vorlesung beschäftigt sich mit dem Begriff Echtzeit aus der Sicht von Betriebssystemen - was versteht man eigentlich unter dem Begriff Echtzeit im Betriebssystemumfeld, wo und warum setzt man sog. Echtzeitbetriebssysteme ein und was zeichnet solche Echtzeitbetriebssysteme aus? In dieser Vorlesung geht es darum, die oben genannten Fragen zu beantworten, indem die grundlegenden Techniken und Mechanismen vermittelt werden, die man im Betriebssystemumfeld verwendet, um Echtzeitsysteme und Echtzeitbetriebssysteme zu realisieren. Im Rahmen dieser Vorlesung werden unter anderem folgende Themen behandelt: • zeitgesteuerte und ereignisgesteuerte Systeme • statische und dynamische Ablaufplanungsverfahren • Fadensynchronisation in Echtzeitbetriebssystemen • Behandlung von periodischen und nicht-periodischen Ereignissen In den begleitenden Übungen werden die in der Vorlesung vorgestellten Techniken bei der Entwicklung eines kleinen Echtzeitsystems praktisch umgesetzt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • unterscheiden die verschiedenen Komponenten eines Echtzeitsystems. • bewerten die Verbindlichkeiten von Terminvorgaben (weich, fest, hart). • erläutern die Zusammensetzung des Laufzeitverhaltes einer Echtzeitanwendung. • klassifizieren die Berührungspunkte zwischen physikalischem Objekt und kontrollierendem Echtzeitsystem. • interpretieren die Zeitparameter des durch das Echtzeitrechnungssystem zu kontrollierenden Objekts. • nennen die Zeitparameter des zugrundeliegenden Rechnungssystems (Unterbrechungslatenz, Ausführungszeit, ...). • unterscheiden synchrone und asynchrone Programmunterbrechung (insbesondere Trap/Interrupt, Ausnahmebehandlung und Zustandssicherung). • skizzieren die Verwaltungsgemeinkosten des schlimmsten Falls.

- entwickeln in der Programmiersprache C und wenden die GNU Werkzeugkette für den ARM Cortex M4 an.
- erstellen Echtzeitanwendungen auf Basis der eCos OS-Schnittstelle
- ordnen die Strukturelemente von Echtzeitanwendungen zu: Aufgabe, Arbeitsauftrag und Faden.
- erläutern die Implikationen von zeitlichem Mehrfachbetrieb auf die Verwaltungsgemeinkosten.
- unterscheiden die Umsetzungsalternativen zur Ablaufsteuerung und die Trennung der Belange in Einplanung (Strategie) und Einlastung (Mechanismus).
- benennen die grundsätzliche Verfahren der Ablaufsteuerung (taktgesteuert, reihum, vorranggesteuert).
- erklären die grundlegenden Zeitparameter einer Aufgabe (Auslösezeitpunkt, Termin, Antwortzeit, Latenz, Ausführungszeit, Schlupfzeit).
- unterscheiden die Grundlagen der Planbarkeit (gültig vs. zulässig, Optimalität von Einplanungsalgorithmen).
- beschreiben den Unterschied zwischen konstruktiver und analytischer Einhaltung von Terminen-.
- vergleiche die Möglichkeiten (statisch, dynamisch) der zeitliche Analyse von Echtzeitanwendungen.
- erklären die Grundlagen und Beschränkungen von dynamischer (worst-case?) und statischer WCET-Analyse (makroskopisch und mikroskopisch).
- illustrieren Lösungsverfahren zur Bestimmung des längsten Ausführungspfads (Timing Schema, IPET).
- erstellen Zeitmessung mittels Zeitgeber / Oszilloskop und bestimmen den längsten Pfad durch Code-Review.
- erproben und konzipieren werkzeuggestützte WCET-Analyse mittels des absint aiT Analysewerkzeugs.
- Entwickeln und annotieren Flußrestriktionen für die statische WCET-Analyse.
- beschreiben die Grundlagen der Abfertigung periodischer Echtzeitsysteme (Periode, Phase, Hyperperiode).
- skizzieren das periodische Modell und dessen Folgen (Entwicklungskomfort vs. Analysierbarkeit).
- erklären die ereignisgesteuerte Ausführung (feste und dynamische Priorität, Verdrängbarkeit) mittels ereignisorientierter Planer (Berechnungskomplexität, MLQ-Scheduler, O(1)-Scheduler).
- unterscheiden die zeitgesteuerte Ausführung (Busy Loop, Ablaufplan) und die Abfertigung von Arbeitsaufträgen im Abfrage- bzw. Unterbrecherbetrieb.
- wenden die Grundlagen der ereignisgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme an.
- unterscheiden Verfahren zur statischen (RM, DM) und dynamischen Prioritätsvergabe (EDF, LRT, LST).

- nennen den Unterschied zwischen Anwendungs- und Systemebene (Mehrdeutigkeit von Prioritäten).
- erläutern den Optimalitätsnachweis des RM-, DM- und EDF-Algorithmus und dessen Ausnahmen.
- beschreiben grundlegende Verfahren zur Planbarkeitsanalyse (CPU-Auslastung, Antwortzeitanalyse).
- implementieren komplexe Aufgabensysteme in eCos.
- unterscheiden die Grundlagen der zeitgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme.
- erstellen regelmäßige, zyklische Ablaufpläne (cyclic executive model, Rahmen).
- vergleiche Methoden der manuellen und algorithmischen Ablaufplanung.
- unterscheiden optimale von heuristischen Verfahren (List Scheduling, Branch & Bound).
- diskutieren die Konsequenzen eines Betriebswechsels in Echtzeitsystemen.
- erstellen takt- beziehungsweise ereignisgesteuerte Abläufe in eCos beziehungsweise tt-eCos.
- entwickeln ein softwarebasiertes Oszilloskop und erstellen dessen zeitliche Analyse und Ablaufplanung.
- klassifizieren die Grundlagen der Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme (minimale Zwischenankunftszeit).
- definieren die Verbindlichkeiten von nicht-periodischen Aufgaben (aperiodisch, sporadisch)
- zeigen die sich ergebenden Restriktionen des periodischen Modells (Mischbetrieb, Prioritätswarteschlangen, Übernahmeprüfung) auf.
- beschreiben die Basistechniken des Laufzeitsystems (Zusteller, Unterbrecherbetrieb, Hintergrundbetrieb).
- quantifizieren die Eigenschaften und Auswirkungen auf den periodischen Teil des Echtzeitsystems.
- formulieren die Grundlagen des Slack-Stealing.
- beschreiben den Einsatz von bandweite-bewahrenden Zustellern.
- unterscheiden aufschiebbare Zusteller und Sporadic Server (SpSL und POSIX).
- wenden eine Übernahmeprüfung bei sporadischen Aufgaben mittels dichte- oder schlupfbasierten Akzeptanztests an.
- arbeiten einen strukturierter Ablaufplan (Rahmen) aus und untersuchen den Einsatz von Slack-Stealing.
- ermitteln gerichtete Abhängigkeiten und Rangfolgen in Echtzeitanwendungen (Abhängigkeits- und Aufgabengraph).
- stellen Umsetzungsalternativen für Abhängigkeiten einander gegenüber (naiv, implizit, explizit).
- beschreiben das Konzept der zeitlichen Domänen und physikalischer bzw. logischer Ereignisse.

		• übertragen Abhängigkeiten auf das Problem der Ablaufplanung (modifiziere Auslösezeitpunkt/Termin, Phasenversatz). • konzipieren Rangfolge und aperiodische Steuerung in eCos. • implementieren einen aperiodischer Moduswechsel mit Zustandsüberführung in eCos. • gestalten einen Signal-Trigger für das entwickelte softwarebasierten Oszilloskops. • konzipieren explizite Synchronisation mittels Nachrichten in eCos. • wenden die Grundlagen von Wettstreit um Betriebsmitteln, Konkurrenz und Konfliktsituationen (kritische Abschnitte, (un)kontrollierte Prioritätsumkehr) an. • beschreiben echtzeitfähige Synchronisationsprotokolle (NPCS, PI, PCP). • nennen die Vor- und Nachteile der Techniken (transitive Blockung, Verklemmungen). • hinterfragen die Vereinfachung des PCP durch stapelbezogene Grenzprioritäten. • bestimmen die Ablaufplanung unter Berücksichtigung von Blockierungszeiten und Selbstsuspendierung. • implementieren Zugriffskontrolle (NPCS, PI, PCP) in Echtzeitanwendungen mit eCos. • analysieren Blockade für die Zugriffskontrolle in eCos. • erläutern die Anforderungen an verteilte Echtzeitsysteme (Komposition, Erweiterbarkeit, Komplexität, Ereignis- vs. Zustandsnachricht). • fassen die Grundlagen von Knoten, Netzwerkschnittstellen und Netzübergängen sowie die Konzepte der expliziten und impliziten Flusskontrolle zusammen. • erschließen sich typische Probleme (zeitliche Analyse, Beobachtbarkeit, Synchronisation, Rangfolge) und Fehlerquellen bei der Programmierung von Echtzeitanwendungen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein, eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio 30-minütige mündliche Prüfung über den gesamten Stoff der Veranstaltung. Teilnahme an den Übungen und die Bearbeitung aller Übungsaufgaben wird hierzu dringend empfohlen!
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich aus der 30-minütigen mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Hermann Kopetz. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Kluwer Academic Publishers, 1997. • Jane W. S. Liu. Real-Time Systems. Prentice-Hall, Inc., 2000. • Wolfgang Schröder-Preikschat. System-programmierung. Vorlesungsfolien. 2006.

1	Module name 333815	Rechnerarchitektur (Vorlesung mit Übung und Rechnerübung) Computer architecture	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Die Vorlesung baut auf die in den Grundlagen der Rechnerarchitektur und -organisation vermittelten Inhalte auf und setzt diese mit weiterführenden Themen fort. Es werden zunächst grundlegende fortgeschrittene Techniken bei Pipelineverarbeitung und Cachezugriffen in modernen Prozessoren und Parallelrechnern behandelt. Ferner wird die Architektur von Spezialprozessoren, z.B. DSPs und Embedded Prozessoren behandelt. Es wird aufgezeigt, wie diese Techniken in konkreten Architekturen (Intel Nehalem, GPGPU, Cell BE, TMS320 DSP, Embedded Prozessor ZPU) verwendet werden. Zur Vorlesung werden eine Tafel- und eine Rechnerübung angeboten. Die Rechnerübung erfordert 11 erfolgreich abgeschlossene Übungsaufgaben, diese gehen mit 10% in die Modulgesamtnote ein. Die verbleibenden 90% werden durch die mündliche Prüfung bestimmt. Insgesamt werden 7,5 ECTS erworben. In den Tafelübungen werden die in der Vorlesung vermittelten Techniken durch zu lösende Aufgaben vertieft. In der Rechnerübung soll u.a. ein einfacher Vielkern-Prozessor auf Basis des ZPU-Prozessors mit Simulationswerkzeugen aufgebaut werden. Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt: • Organisationsaspekte von CISC und RISC-Prozessoren • Behandlung von Hazards in Pipelines • Fortgeschrittene Techniken der dynamischen Sprungvorhersage • Fortgeschritten Cachetechniken, Cache-Kohärenz • Ausnutzen von Cacheeffekten • Architekturen von Digitalen Signalprozessoren • Architekturen homogener und heterogener Multikern-Prozessoren (Intel Corei7, Nvidia GPUs, RISC-V) • Architektur von Parallelrechnern (Clusterrechner, Superrechner) • Effiziente Hardware-nahe Programmierung von Multikern-Prozessoren (OpenMP, SSE, CUDA) • Leistungsmodellierung und -analyse von Multikern-Prozessoren (Roofline-Modell)
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Wissen Lernende können Wissen abrufen und wiedergeben. Sie können konkrete Einzelheiten wie Begriffe, Definitionen, Fakten, und Abläufe in einem Prozessor darlegen. Verstehen

		Lernende können Beispiele für Rechnerarchitekturen anführen, sie sind in der Lage, Schaubilder von Prozessoren zu interpretieren und die Abläufe in eigenen Worten zu beschreiben. Anwenden Lernende können beim Erstellen eigener Programme durch Transfer des Wissens über Interna von Prozessorarchitekturen Optimierungen hinsichtlich des Laufzeitverhaltens vornehmen. Analysieren Lernende können zwischen verschiedenen Varianten von Lösungen einer Prozessorarchitektur klassifizieren, die Gründe für durchgeführte Entwurfsentscheidungen erschließen, Unterschiede gegenüberstellen und gegeneinander bewerten. Lern- bzw. Methodenkompetenz Lernende erwerben die Fähigkeit selbstständig Testprogramme zum Bewerten der Leistungsfähigkeit eines Prozessors zu erstellen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Patterson/Hennessy: Computer Organization und Design • Hennessy/Patterson: Computer Architecture - A Quantitative Approach • Stallings: Computer Organization and Architecture • Martin: Rechnerarchitekturen

1	Module name 399289	Programmierung und Architekturen von Cluster-Rechnern Programming and architecture of computer clusters	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 557235	Middleware - Cloud Computing (Vorlesung mit Übungen) Lecture and tutorial: Middleware - Cloud computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Tobias Distler
5	Contents	• Überblick Cloud Computing • Grundlagen verteilter Programmierung (Web Services/SOAP/REST) • Virtualisierung als Basis für Cloud Computing • Infrastructure as a Service (IaaS) am Beispiel von Eucalyptus und Amazon EC2 • Skalierbare Verarbeitung von großen Datenmengen • Interoperabilität und Multi-Cloud Computing • Fehlertoleranz im Kontext von Cloud Computing • Aktuelle Forschungstrends
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: - nennen unterschiedliche Ausprägungen von Cloud-Computing. - erläutern verschiedene Cloud-Architekturen. - stellen Vor- und Nachteile von Cloud-Computing gegenüber. - unterscheiden die Herangehensweisen bei der Entwicklung von SOAP- im Vergleich zu REST-Anwendungen. - organisieren den Austausch von Informationen in einer verteilten Anwendung unter Verwendung eines Verzeichnisdienstes. - entwickeln eigene auf Web-Services basierende Anwendungen. - erläutern die Anforderungen an ein virtualisiertes System. - beschreiben die für die Virtualisierung eines Systems erforderlichen Kriterien. - vergleichen zwischen unterschiedlichen Virtualisierungstechniken und -ebenen. - schildern den Aufbau und die Funktionsweise von Xen und Linux-VServer. - erproben das Einrichten eines Abbilds für eine virtuelle Maschine. - skizzieren die Architektur einer Infrastruktur-Cloud sowie die Aufgabenbereiche hierfür zentraler Komponenten am Beispiel von Eucalyptus. - erproben das Bereitstellen von Anwendungen in einer Infrastruktur-Cloud. - zeigen die Grundlagen Software-definierter Netzwerke am Beispiel von Onix und B4 auf. - bewerten verschiedene im Bereich Cloud-Computing zum Einsatz kommende Datenspeichersysteme (Google File System, Bigtable, Windows Azure Storage, Amazon Dynamo) hinsichtlich der Kriterien Verfügbarkeit, Konsistenz und Partitionstoleranz.

		- erläutern eine auf Vektoruhren basierende Methode zur Auflösung im Zusammenhang mit letztendlicher Konsistenz auftretender Konflikte. - entwickeln ein verteiltes Dateisystem nach dem Vorbild von HDFS, das auf die Speicherung großer Datenmengen ausgelegt ist. - erkunden das Bereitstellen selbst entwickelter Dienste mittels Docker. - erstellen ein Framework zur parallelen Bearbeitung von Daten nach dem Vorbild von MapReduce. - konzipieren eigene MapReduce-Anwendungen zur Verarbeitung strukturierter Rohdaten. - diskutieren die Fehlertoleranzmechanismen in Google MapReduce. - schildern die grundsätzliche Funktionsweise von Systemen zur Kühlung von Datenzentren mittels Umgebungsluft. - beschreiben das Grundkonzept einer temperaturabhängigen Lastverteilung von Prozessen in einem Datenzentrum. - stellen diverse Ansätze zur Erhöhung der Energieeffizienz von MapReduce-Clustern gegenüber. - unterscheiden die Architekturen und Funktionsweisen der Koordinierungsdienste Chubby und ZooKeeper. - entwickeln einen eigenen Koordinierungsdienst nach dem Vorbild von ZooKeeper. - ermitteln die Konsistenzeigenschaften der eigenen Koordinierungsdienstimplementierung. - erläutern unterschiedliche Ansätze zur Reduzierung bzw. Tolerierung von Tail-Latenz. - skizzieren das Grundkonzept von Erasure-Codes. - beschreiben den Aufbau eines auf die Clouds mehrerer Anbieter gestützten Datenspeichersystems. - erläutern den Einsatz passiver Replikation zur Bereitstellung von Fehlertoleranzmechanismen für virtuelle Maschinen am Beispiel von Remus. - schildern die Grundlagen der Migration von virtuellen Maschinen. - bewerten die Qualität einer aktuellen Publikation aus der Fachliteratur. - erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Konsistenz, Skalierbarkeit) und Fehlerquellen bei der Programmierung verteilter Anwendungen. - können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. - können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. - können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen. - reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab.
7	Prerequisites	Gute Programmierkenntnisse in Java
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio

		Das Modul wird bestanden bei erfolgreicher Bearbeitung aller 6 Aufgaben (Bewertung jeweils mit "ausreichend") und dem Bestehen einer 30-minütigen mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Bewertung der mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 707303	Echtzeitsysteme (Vorlesung mit Übungen) Real-time systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Videobearbeitung in Echtzeit, Echtzeitstrategiespiel, echtzeitfähig - der Begriff Echtzeit ist wohl einer der am meisten strapazierten Begriffe der Informatik und wird in den verschiedensten Zusammenhängen benutzt. Diese Vorlesung beschäftigt sich mit dem Begriff Echtzeit aus der Sicht von Betriebssystemen - was versteht man eigentlich unter dem Begriff Echtzeit im Betriebssystemumfeld, wo und warum setzt man sog. Echtzeitbetriebssysteme ein und was zeichnet solche Echtzeitbetriebssysteme aus? In dieser Vorlesung geht es darum, die oben genannten Fragen zu beantworten, indem die grundlegenden Techniken und Mechanismen vermittelt werden, die man im Betriebssystemumfeld verwendet, um Echtzeitsysteme und Echtzeitbetriebssysteme zu realisieren. Im Rahmen dieser Vorlesung werden unter anderem folgende Themen behandelt: • zeitgesteuerte und ereignisgesteuerte Systeme • statische und dynamische Ablaufplanungsverfahren • Fadensynchronisation in Echtzeitbetriebssystemen • Behandlung von periodischen und nicht-periodischen Ereignissen In den begleitenden Übungen werden die in der Vorlesung vorgestellten Techniken bei der Entwicklung eines kleinen Echtzeitsystems praktisch umgesetzt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • unterscheiden die verschiedenen Komponenten eines Echtzeitsystems. • bewerten die Verbindlichkeiten von Terminvorgaben (weich, fest, hart). • erläutern die Zusammensetzung des Laufzeitverhaltes einer Echtzeitanwendung. • klassifizieren die Berührungspunkte zwischen physikalischem Objekt und kontrollierendem Echtzeitsystem. • interpretieren die Zeitparameter des durch das Echtzeitrechnungssystem zu kontrollierenden Objekts. • nennen die Zeitparameter des zugrundeliegenden Rechnungssystems (Unterbrechungslatenz, Ausführungszeit, ...). • unterscheiden synchrone und asynchrone Programmunterbrechung (insbesondere Trap/Interrupt, Ausnahmebehandlung und Zustandssicherung). • skizzieren die Verwaltungsgemeinkosten des schlimmsten Falls.

- entwickeln in der Programmiersprache C und wenden die GNU Werkzeugkette für den ARM Cortex M4 Microcontroller an.
- erstellen Echtzeitanwendungen auf Basis der eCos OS-Schnittstelle
- ordnen die Strukturelemente von Echtzeitanwendungen zu: Aufgabe, Arbeitsauftrag und Faden.
- erläutern die Implikationen von zeitlichem Mehrfachbetrieb auf die Verwaltungsgemeinkosten.
- unterscheiden die Umsetzungsalternativen zur Ablaufsteuerung und die Trennung der Belange in Einplanung (Strategie) und Einlastung (Mechanismus).
- benennen die grundsätzliche Verfahren der Ablaufsteuerung (taktgesteuert, reihum, vorranggesteuert).
- erklären die grundlegenden Zeitparameter einer Aufgabe (Auslösezeitpunkt, Termin, Antwortzeit, Latenz, Ausführungszeit, Schlupfzeit).
- unterscheiden die Grundlagen der Planbarkeit (gültig vs. zulässig, Optimalität von Einplanungsalgorithmen).
- beschreiben den Unterschied zwischen konstruktiver und analytischer Einhaltung von Terminen-.
- vergleiche die Möglichkeiten (statisch, dynamisch) der zeitliche Analyse von Echtzeitanwendungen.
- erklären die Grundlagen und Beschränkungen von dynamischer (worst-case?) und statischer WCET-Analyse (makroskopisch und mikroskopisch).
- illustrieren Lösungsverfahren zur Bestimmung des längsten Ausführungspfads (Timing Schema, IPET).
- erstellen Zeitmessung mittels Zeitgeber / Oszilloskop und bestimmen den längsten Pfad durch Code-Review.
- erproben werkzeuggestützte WCET-Analyse mittels des absint aiT Analysewerkzeugs.
- beschreiben die Grundlagen der Abfertigung periodischer Echtzeitsysteme (Periode, Phase, Hyperperiode).
- skizzieren das periodische Modell und dessen Folgen (Entwicklungskomfort vs. Analysierbarkeit).
- erklären die ereignisgesteuerte Ausführung (feste und dynamische Priorität, Verdrängbarkeit) mittels ereignisorientierter Planer (Berechnungskomplexität, MLQ-Scheduler, O(1)-Scheduler).
- unterscheiden die zeitgesteuerte Ausführung (Busy Loop, Ablaufplan) und die Abfertigung von Arbeitsaufträgen im Abfrage- bzw. Unterbrecherbetrieb.
- wenden die Grundlagen der ereignisgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme an.
- unterscheiden Verfahren zur statischen (RM, DM) und dynamischen Prioritätsvergabe (EDF, LRT, LST).
- nennen den Unterschied zwischen Anwendungs- und Systemebene (Mehrdeutigkeit von Prioritäten).

- erläutern den Optimalitätsnachweis des RM-, DM- und EDF-Algorithmus und dessen Ausnahmen.
- beschreiben grundlegende Verfahren zur Planbarkeitsanalyse (CPU-Auslastung, Antwortzeitanalyse).
- implementieren komplexe Aufgabensysteme in eCos.
- unterscheiden die Grundlagen der zeitgesteuerten Ablaufplanung periodischer Echtzeitsysteme.
- erstellen regelmäßige, zyklische Ablaufpläne (cyclic executive model, Rahmen).
- vergleichen Methoden der manuellen und algorithmischen Ablaufplanung.
- unterscheiden optimale von heuristischen Verfahren (List Scheduling, Branch & Bound).
- diskutieren die Konsequenzen eines Betriebswechsels in Echtzeitsystemen.
- erstellen takt- beziehungsweise ereignisgesteuerte Abläufe in eCos beziehungsweise tt-eCos.
- klassifizieren die Grundlagen der Abfertigung nicht-periodischer Echtzeitsysteme (minimale Zwischenankunftszeit).
- definieren die Verbindlichkeiten von nicht-periodischen Aufgaben (aperiodisch, sporadisch)
- zeigen die sich ergebenden Restriktionen des periodischen Modells (Mischbetrieb, Prioritätswarteschlangen, Übernahmeprüfung) auf.
- beschreiben die Basistechniken des Laufzeitsystems (Zusteller, Unterbrecherbetrieb, Hintergrundbetrieb).
- quantifizieren die Eigenschaften und Auswirkungen auf den periodischen Teil des Echtzeitsystems.
- formulieren die Grundlagen des Slack-Stealing.
- beschreiben den Einsatz von bandweite-bewahrenden Zustellern.
- unterscheiden aufschiebbare Zusteller und Sporadic Server (SpSL und POSIX).
- wenden eine Übernahmeprüfung bei sporadischen Aufgaben mittels dichte- oder schlupfbasierten Akzeptanztests an.
- arbeiten einen strukturierter Ablaufplan (Rahmen) aus und untersuchen den Einsatz von Slack-Stealing.
- ermitteln gerichtete Abhängigkeiten und Rangfolgen in Echtzeitanwendungen (Abhängigkeits- und Aufgabengraph).
- stellen Umsetzungsalternativen für Abhängigkeiten einander gegenüber (naiv, implizit, explizit).
- beschreiben das Konzept der zeitlichen Domänen und physikalischer bzw. logischer Ereignisse.
- übertragen Abhängigkeiten auf das Problem der Ablaufplanung (modifiziere Auslöszeitpunkt/Termin, Phasenversatz).
- konzipieren Rangfolge und aperiodische Steuerung in eCos.

		• implementieren einen aperiodischer Moduswechsel mit Zustandsüberführung in eCos. • wenden die Grundlagen von Wettstreit um Betriebsmitteln, Konkurrenz und Konfliktsituationen (kritische Abschnitte, (un)kontrollierte Prioritätsumkehr) an. • beschreiben echtzeitfähige Synchronisationsprotokolle (NPCS, PI, PCP). • nennen die Vor- und Nachteile der Techniken (transitive Blockung, Verklemmungen). • hinterfragen die Vereinfachung des PCP durch stapelbezogene Grenzprioritäten. • bestimmen die Ablaufplanung unter Berücksichtigung von Blockierungszeiten und Selbstsuspendierung. • implementieren Zugriffskontrolle (NPCS, PI, PCP) in Echtzeitanwendungen mit eCos. • erläutern die Anforderungen an verteilte Echtzeitsysteme (Komposition, Erweiterbarkeit, Komplexität, Ereignis- vs. Zustandsnachricht). • fassen die Grundlagen von Knoten, Netzwerkschnittstellen und Netzübergängen sowie die Konzepte der expliziten und impliziten Flusskontrolle zusammen. • erschließen sich typische Probleme (zeitliche Analyse, Beobachtbarkeit, Synchronisation, Rangfolge) und Fehlerquellen bei der Programmierung von Echtzeitanwendungen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein, eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio 30-minütige mündliche Prüfung über den gesamten Stoff der Veranstaltung.

		Teilnahme an den Übungen und die Bearbeitung aller Übungsaufgaben wird hierzu dringend empfohlen!
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote wird durch eine 30-minütige mündliche Prüfung am Ende des Semesters festgelegt.
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 60 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Hermann Kopetz. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Kluwer Academic Publishers, 1997. • Jane W. S. Liu. Real-Time Systems. Prentice-Hall, Inc., 2000. • Wolfgang Schröder-Preikschat. Softwaresysteme 1. Vorlesungsfolien. 2006.

1	Module name 740665	Parallele Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen) Parallel systems with extended exercises	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Parallele Systeme (2 SWS) Übung: Übung zu Parallele Systeme (2 SWS) Übung: Erweiterte Übungen zu Parallele Systeme (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich Frank Hannig Dominik Walter Batuhan Sesli	

4	Module coordinator	Joachim Falk Frank Hannig Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	
5	Contents	Aktuelle PCs verfügen über Mehrkernprozessoren und Grafikkarten, die wiederum aus hunderten von einfachen Prozessoren bestehen können. Hierdurch wird ein hohes Maß an nebenläufiger Datenverarbeitung möglich, welche bis vor einigen Jahren nur in Großrechnern erreicht werden konnte. Die effiziente Ausnutzung dieser Parallelität bedarf allerdings mehr als nur mehrerer Prozessoren, insbesondere muss das zu lösende Problem Parallelverarbeitung erlauben. In dieser Vorlesung werden Eigenschaften unterschiedlicher paralleler Rechnerarchitekturen und Metriken zu deren Beurteilung behandelt. Weiterhin werden Modelle und Sprachen zum Programmieren paralleler Rechner eingeführt. Neben der Programmierung von allgemeinen Parallelrechnern werden Entwurfsmethoden (CAD) vorgestellt, wie man ausgehend von einer algorithmischen Problemstellung ein massiv paralleles Rechenfeld in VLSI herleiten kann, das genau dieses Problem optimal parallel berechnet. Solche Schaltungen spielen auf der Bit- bzw. Wortebene eine dominante Rolle (Arithmetik) sowie bei Problemen der Signal- und Bildverarbeitung (z.B. Filter). Im Einzelnen werden behandelt: 1) Theorie der Parallelität (parallele Computermodelle, parallele Spezifikationsformen und -sprachen, Performanzmodelle und -berechnung) 2) Klassifikation paralleler und skalierbarer Rechnerarchitekturen (Multiprozessoren und Multicomputer, Vektorrechner, Datenflussmaschinen, VLSI-Rechenfelder) 3) Programmierbare System-on-Chip (SoC) und Mehrkern-Architekturen (Grafik-Prozessoren, Cell, etc.) 4) Programmierung paralleler Rechner (Sprachen und Modelle, Entwurfsmethoden und Compiler, Optimierung) 5) Massive Parallelität: Vom Algorithmus zur Schaltung 6) Praktische Übungen mit rechnergestützten Werkzeugen <i>Today's PCs consist of multi-core processors and graphics cards that again comprise hundreds to thousands of simple processors. As a</i>	

		result of this, a very high degree of parallel data processing becomes possible, which was subjected to supercomputers a couple of years ago. The efficient exploitation of parallel processing requires not only multiple processors but also parallelism inherent in the problem to be solved. In this lecture, properties of different parallel computer architectures and corresponding quality metrics are examined. Further, models and parallel programming languages are introduced. In addition to programming general parallel computers, design methods (CAD) are presented that systematically transform an algorithmic problem description into a massive parallel processor array (VLSI), which can optimally execute the given problem in parallel. Such highly parallel circuits play an essential role at the bit level and circuit level (arithmetics) as well as in the case of signal processing and image processing (e.g., filter). <i>In detail, the following topics are covered:</i> 1) Theory of parallelism (parallel models of computation, parallel specification and parallel languages, performance models) 2) Classification of parallel and scalable computer architectures (multi-processors and multi-computers, vector computers, data-flow machines, VLSI processor arrays) 3) Programmable System-on-Chip (SoC) and multi-core architectures (graphics processors, Cell, etc.) 4) Programming of parallel computers (languages and models, design methods and compiler, optimization) 5) Massive parallelism: From algorithm to circuit 6) Practical training with computer-aided design tools
6	Learning objectives and skills	Schwerpunkt der Vorlesung ist die Vermittlung von Grundlagen der parallelen Datenverarbeitung. <i>The focus of this lecture are foundations of parallel data processing.</i> Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden verstehen grundlegende Konzepte der parallelen Datenverarbeitung, sowohl theoretischer Art anhand von Modellen, als auch an Architekturbeispielen. The students become familiar with the fundamentals of parallel data processing, theoretic in the form of models as well as by architecture examples. Fachkompetenz - Anwenden • Die Studierenden setzen sich mit modernen eingebetteten parallelen Ein-Chip-Architekturen auseinander. The students get familiar with modern embedded parallel system-on-chip architectures. • Die Studierenden wenden grundlegende Performanzmodelle und Parallelisierungstechniken zur Analyse und Optimierung von parallelen Algorithmen und Architekturen an. The students exercise basic performance models and parallelization techniques for the analysis and optimization of parallel algorithms and architectures.

		- Die Studierenden setzen die Modellierung und den Entwurf von massiv-parallelen Prozessorfeldern in konkreten Aufgaben selbstständig um. In concrete tasks, the students apply independently the modeling and the design of massively parallel processors arrays. - Die Studierenden wenden das erlernte Wissen in den erweiterten Übungen vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls an. The students apply their learned knowledge in hands-on computer exercises on-site at the chair's computer workstations.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Parallele Systeme“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) - Prüfung und erfolgreiche Bearbeitung aller Übungsaufgaben in den erweiterten Übungen (verpflichtend, vor Ort an den Rechnerarbeitsplätzen des Lehrstuhls). - Ein Wechsel der Prüfungsform von einer Klausur zu einer mündlichen Prüfung ist in Ausnahmefällen (siehe § 16 ABMPO/TechFak) auch nach Semesterbeginn noch möglich. In diesem Fall werden die Studierenden spätestens zwei Wochen nach Vorlesungsbeginn informiert. - Prüfungssprache: Deutsch oder Englisch. Die Unterrichts- und Prüfungssprache hängt von den Sprachkenntnissen und Präferenzen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer ab und wird dementsprechend innerhalb der ersten zwei Wochen nach Vorlesungsbeginn festgelegt.
11	Grading procedure	Written examination (100%) Die Modulnote ergibt sich aus der Prüfungsleistung.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/parallele-systeme

1	Module name 798810	Rechnerarchitektur Computer architecture	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Die Vorlesung baut auf die in den Grundlagen der Rechnerarchitektur und -organisation vermittelten Inhalte auf und setzt diese mit weiterführenden Themen fort. Es werden zunächst grundlegende fortgeschrittene Techniken bei Pipelineverarbeitung und Cachezugriffen in modernen Prozessoren und Parallelrechnern behandelt. Ferner wird die Architektur von Spezialprozessoren, z.B. DSPs und Embedded Prozessoren behandelt. Es wird aufgezeigt, wie diese Techniken in konkreten Architekturen (Intel Nehalem, GPGPU, Cell BE, TMS320 DSP, Embedded Prozessor ZPU) verwendet werden. Zur Vorlesung wird eine Tafelübung angeboten. Mit erfolgreicher mündlicher Prüfung können 5 ECTS erworben werden. In den Tafelübungen werden die in der Vorlesung vermittelten Techniken durch zu lösende Aufgaben vertieft. In der Rechnerübung soll u.a. ein einfacher Vielkern-Prozessor auf Basis des ZPU-Prozessors mit Simulationswerkzeugen aufgebaut werden. Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt: • Organisationsaspekte von CISC und RISC-Prozessoren • Behandlung von Hazards in Pipelines • Fortgeschrittene Techniken der dynamischen Sprungvorhersage • Fortgeschritten Cachetechniken, Cache-Kohärenz • Ausnutzen von Cacheeffekten • Architekturen von Digitalen Signalprozessoren • Architekturen homogener und heterogener Multikern-Prozessoren (Intel Corei7, Nvidia GPUs, RISC-V) • Architektur von Parallelrechnern (Clusterrechner, Superrechner) • Effiziente Hardware-nahe Programmierung von Multikern-Prozessoren (OpenMP, SSE, CUDA) • Leistungsmodellierung und -analyse von Multikern-Prozessoren (Roofline-Modell)
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Wissen Lernende können Wissen abrufen und wiedergeben. Sie kennen konkrete Einzelheiten wie Begriffe, Definitionen, Fakten, und Abläufe in einem Prozessor darlegen. Verstehen Lernende können Beispiele für Rechnerarchitekturen anführen, sie sind in der Lage, Schaubilder von Prozessoren zu interpretieren und die Abläufe in eigenen Worten zu beschreiben. Anwenden

		Lernende können beim Erstellen eigener Programme durch Transfer des Wissens über Interna von Prozessorarchitekturen Optimierungen hinsichtlich des Laufzeitverhaltens vornehmen. Analysieren Lernende können zwischen verschiedenen Varianten von Lösungen einer Prozessorarchitektur klassifizieren, die Gründe für durchgeführte Entwurfsentscheidungen erschließen, Unterschiede gegenüberstellen und gegeneinander bewerten. Lern- bzw. Methodenkompetenz Lernende erwerben die Fähigkeit selbstständig Testprogramme zum Bewerten der Leistungsfähigkeit eines Prozessors zu erstellen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	• Patterson/Hennessy: Computer Organization und Design • Hennessy/Patterson: Computer Architecture - A Quantitative Approach • Stallings: Computer Organization and Architecture • Martin: Rechnerarchitekturen

1	Module name 820947	Betriebssysteme (Vorlesung mit erweiterten Übungen) Operating systems (lectures with extend exercises)	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Volkmar Sieh
5	Contents	Inhalt des Moduls ist Vermittlung grundlegender Konzepte, Methoden und Techniken von Betriebssystemen aus dem Blickwinkel einer Betriebssystementwicklerin. Im Rahmen der Übungen entwickeln die Studierenden in einem "bottom-up" Entwurf- und Entwicklungsprozess ihr eigenes Mehrkernbetriebssystem für die IA-32 Plattform, ausgehend von der "nackten Hardware" über grundlegende Ein-Ausgabemöglichkeiten, Unterbrechungsbearbeitung bis hin zu quasi- und echtparalleler Programmausführung.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: - erläutern den Startvorgang eines Rechensystems am Beispiel eines x86/x86_64-PCs. - beschreiben die spezifischen Herausforderungen bei der Softwareentwicklung für "bare metal". - beschreiben den Ablauf einer Unterbrechungsbehandlung von der Hardware bis zur (System-)software. - skizzieren Besonderheiten und Strategien der Unterbrechungsbehandlung in Hardware für Mehrkernsystemen am Beispiel des IA32-APICs. - diskutieren die Aufgabenteilung zwischen Hardware und Systemsoftware bei der Unterbrechungsbearbeitung. - unterscheiden die verschiedenen Typen von Kontrollflüssen in einem Betriebssystem anhand des Ebenenmodells. - unterscheiden harte, mehrstufige, und weiche Verfahren zur Unterbrechungssynchronisation in Betriebssystemen und können diese für ein Mehrkernsystem implementieren. - klassifizieren konkrete Konkurrenzsituationen anhand des Ebenenmodells und leiten daraus geeignete Synchronisationsmaßnahmen ab. - schildern die IA32-Architektur und gängige PC-Technologie und deren Schnittstellen zur Systemsoftware. - erläutern grundlegende Bausteine für die Implementierung von Quasi-Parallelität (Fortsetzungen, Koroutinen, Fäden) und grenzen diese gegeneinander ab. - erläutern die Interaktionen zwischen Hardware, Übersetzer und Systemsoftware, die dabei zu beachten sind. - entwickeln den Koroutinenwechsel für einen gegebene Architektur. - erläutern die Implikationen von Quasi-Parallelität auf das Ebenenmodell und die daraus abgeleiteten Synchronisationsmaßnahmen.

		- beschreiben die Implementierung von (verdrängendem) Scheduling in einem Betriebssystem. - analysieren das Zusammenspiel von Scheduling und Unterbrechungssynchronisation. - nennen Kriterien und Dimensionen des Scheduling von Betriebsmitteln, insbesondere der CPU. - erläutern die konkrete Umsetzung am Beispiel der Scheduler in Linux und Windows. - unterscheiden grundlegende Möglichkeiten der Koordinierung und Synchronisation von Fäden (aktives/passives Warten, nichtverdrängbare kritische Abschnitte). - entwickeln Mechanismen für die Synchronisation auf Fadenebene für Mehrkernsystemen. - erklären die dabei zu beachtenden Synchronisationsprobleme (lost update, lost wakeup) und geeignete Gegenmaßnahmen. - interpretieren die Bedeutung von Gerätetreibern in der Betriebssystempraxis. - erläutern die Anforderungen an ein Treibermodell. - vergleichen die Umsetzung von Treibermodellen in Windows und Linux. - vergleichen grundlegende BS-Architekturen (Bibliothek, Monolith, Mikrokern, Exokern, Hypervisor) anhand fundamentaler Charakteristika (Robustheit, Performanz, Portierbarkeit) und Mechanismen. - schildern die grundlegenden Paradigmen zur Interprozesskommunikation in Betriebssystemen (speicherbasiert vs. nachrichtenbasiert). - erläutern die grundlegenden Primitiven dieser Verfahren. - skizzieren, wie unter Anwendung dieser Primitiven höhere Synchronisationskonstrukte implementiert werden (Monitore, Leser-/Schreiber-Sperre). - illustrieren die Dualität der Paradigmen. - erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Compilerverhalten, Debuggen ohne dedizierte Hilfsmittel) und Fehlerquellen bei der hardwarenahen Softwareentwicklung für Mehrkernsysteme. - können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. - können die ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. - reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. - können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen.
7	Prerequisites	• C/C++ (Übungsaufgaben werden in C++ implementiert) • Assembler (Grundkenntnisse)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222

10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Avi Silberschatz, Peter B. Galvin, Greg Gagne. Operating System Concepts. John Wiley & Sons. • Andrew S. Tanenbaum. Modern Operating Systems. Pearson. • William Stallings. Operating Systems: Internals and Design Principles. Prentice Hall. • Andrew S. Tanenbaum. Structured Computer Organization. Pearson.

1	Module name 939179	Echtzeitsysteme 2 - Verlässliche Echtzeitsysteme Real-time systems 2 - dependable real-time systems	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Viele Echtzeitsysteme sind in Bereiche des täglichen Lebens eingebettete, die hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit dieser Systeme stellen. Beispiele hierfür sind Fahrerassistenzsysteme in modernen Automobilen, medizinische Geräte, Prozessanlagen in Kernkraftwerken oder Chemiefabriken oder Flugzeuge. Fehlfunktionen in diesen Anwendungen ziehen mitunter katastrophale Konsequenzen nach sich - Menschen können ernsthaft verletzt oder sogar getötet werden, Landstriche können unbewohnbar gemacht oder zumindest großer finanzieller Schaden verursacht werden. Dieses Modul betrachtet Methoden und Werkzeuge, die uns helfen können, einerseits *zuverlässig Software zu entwickeln* (also Fehler im Programm zu entdecken und zu vermeiden), und andererseits *zuverlässige Software zu entwickeln* (also Abstraktionen, die auch im Fehlerfall ihre Gültigkeit behalten). Hierbei steht weniger die Vermittlung theoretischer Grundkenntnisse auf diesen Gebieten im Vordergrund, also vielmehr • die praktische Anwendung existierende Werkzeuge und Methoden • sowie die Erfahrung und das Verständnis ihrer Grenzen. Auf diese Weise soll ein Fundament für die konstruktive Umsetzung verlässlicher Echtzeitsysteme gelegt werden. Dieses Modul soll daher fundierte Anknüpfungspunkte für die Entwicklung verlässlicher Echtzeitsysteme vermitteln, die Ad-hoc-Techniken möglichst ersetzen sollen.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • nennen die Konzepte und die Taxonomie verlässlicher Systeme, unterscheiden Software- und Hardwarefehler und klassifizieren Fehler (Defekt, Fehler, Fehlverhalten). • stellen Fehlerbäume auf. • organisieren Softwareentwicklungsprojekte mittels der Versionsverwaltung git. • vergleichen die verschiedenen Arten der Redundanz als Grundvoraussetzung für Fehlererkennung und -toleranz. • entwickeln fehlertolerante Systeme mittels Replikation. • diskutieren die Fehlerhypothese und die Sicherstellung von Replikdeterminismus. • erläutern die Vor- und Nachteile softwarebasierter Replikation und den Einsatz von Diversität. • wenden Informationsredundanz zur Härtung von Daten- und Kontrollflüssen an.

- bewerten die Effektivität der arithmetischer Codierung von Programmen und verallgemeinern diesen Ansatz auf die verschiedenen Implementierungsebenen (Maschinenprogramm zu Prozessinkarnation).
- interpretieren den Einfluss der Ausführungsplattform (Hardware, Betriebssystem) auf die Leistungsfähigkeit der Fehlererkennung.
- konzipieren eine fehlertolerante Ausführungsumgebung für ein softwarebasiertes TMR-System basierend auf ANBD-Codierung.
- nennen die Grundlagen der systematischen Fehlerinjektion.
- überprüfen die Wirksamkeit von Fehlertoleranzmechanismen mittels Fehlerinjektion auf der Befehlssatzebene.
- entwickeln Testfälle für die Fehlerinjektion mittels des fail** Werkzeugs.
- setzen Messergebnisse in Relation zu dem tatsächlichen Fehlerraum.
- beschreiben die Grundlagen der Fehlererholung (Vorwärts- bzw. Rückwärtskorrektur) und Reintegration fehlgeschlagener Knoten.
- vergleichen den Zustandstransfer am Beispiel der Running bzw. Recursive State Restoration.
- benennen Konzepte der Rückwärtskorrektur durch Entwurfsalternativen (Recovery Blocks).
- fassen die Grundlagen des dynamischen Testens zusammen.
- unterscheiden Black-Box und White-Box Testverfahren.
- konzipieren und implementieren Testfälle.
- überprüfen die Testüberdeckung anhand grundlegender Überdeckungskriterien (Anweisungs- bis Bedingungsüberdeckung).
- geben die Grundlagen der statischen Programmanalyse wieder.
- nennen die Funktionsweise von Hoare- WP-Kalkül.
- verifizieren eine Ampelsteuerung mittels des FramaC Werkzeugs zur statischen Analyse von C Programmen.
- beschreiben den Korrektheitsnachweis mittels abstrakter Interpretation und unterscheiden die konkrete von der abstrakten Programmsemantik.
- erläutern die Funktionsweise von Sammel- und Präfixsemantiken.
- erstellen einen Korrektheitsbeweis für einen a-b-Filter mittels des Astrée Werkzeugs zur abstrakten Interpretation von C Programmen.
- bewerten die Verlässlichkeit kommerzieller, sicherheitskritischer Systeme anhand von Fallstudien (Sizewell B, Airbus A320).
- erschließen sich typische Probleme und Fehlerquellen bei der Programmierung von eingebetteten Systemen im Allgemeinen.

		• klassifizieren Fallstricke und Mehrdeutigkeiten in der Programmiersprache C99 im Besonderen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein. Weiterhin sind grundlegende Kenntnisse über Echtzeitsysteme, zum Beispiel durch den Besuch der Veranstaltung "Echtzeitsysteme", empfohlen. Eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang jedoch nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 743260	Verteilte Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen) Distributed systems (lecture with extended exercises)	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Rechnerübungen zu Verteilte Systeme (2 SWS) Übung: Erweiterte Übungen zu Verteilte Systeme (2 SWS) Vorlesung: Verteilte Systeme (2 SWS)	- 5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Tobias Distler Harald Böhm Dr. rer. nat. Christian Berger	

4	Module coordinator	Tobias Distler
5	Contents	Verteilte Systeme bestehen aus mehreren Rechnern, die über ein Netzwerk miteinander verbunden sind und einen gemeinsamen Dienst erbringen. Obwohl die beteiligten Rechner hierfür in weiten Teilen unabhängig voneinander agieren, erscheinen sie ihren Nutzern gegenüber in der Gesamtheit dabei trotzdem als ein einheitliches System. Die Einsatzmöglichkeiten für verteilte Systeme erstrecken sich über ein weites Spektrum an Szenarien: Von der Zusammenschaltung kleinster Rechenknoten zur Sammlung von Daten im Rahmen von Sensornetzwerken über Steuerungssysteme für Kraftfahrzeuge und Industrieanlagen bis hin zu weltumspannenden, Internet-gestützten Infrastrukturen mit Komponenten in Datenzentren auf verschiedenen Kontinenten. Ziel dieses Moduls ist es, die sich durch die speziellen Eigenschaften verteilter Systeme ergebenden Problemstellungen zu verdeutlichen und Ansätze zu vermitteln, mit deren Hilfe sie gelöst werden können; Beispiele hierfür sind etwa die Interaktion zwischen heterogenen Systemkomponenten, der Umgang mit erhöhten Netzwerklatenzen sowie die Wahrung konsistenter Zustände über Rechengrenzen hinweg. Gleichzeitig zeigt das Modul auf, dass die Verteiltheit eines Systems nicht nur Herausforderungen mit sich bringt, sondern auf der anderen Seite auch Chancen eröffnet. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die im Vergleich zu nicht verteilten Systemen erzielbare höhere Widerstandsfähigkeit eines Gesamtsystems gegenüber Fehlern wie den Ausfällen ganzer Rechner oder sogar kompletter Datenzentren. Ausgehend von den einfachsten, aus nur einem Client und einem Server bestehenden verteilten Systemen, beschäftigt sich die Vorlesung danach mit der deutlich komplexeren Replikation der Server-Seite und behandelt anschließend die Verteilung eines Systems über mehrere, mitunter weit voneinander entfernte geografische Standorte. In allen Abschnitten umfasst die Betrachtung des jeweiligen Themas eine Auswahl aus Grundlagen, im Praxiseinsatz befindlicher Ansätze und Techniken sowie für den aktuellen Stand der Forschung repräsentativer Konzepte. Im Rahmen der Übungen wird zunächst ein plattformunabhängiges Fernaufrufsystem schrittweise entwickelt und parallel dazu getestet. Als Vorlage und Orientierungshilfe dient dabei das in der Praxis

		weit verbreitete Java RMI. In den weiteren Übungsaufgaben stehen anschließend klassische Problemstellungen von verteilten Systemen wie fehlertolerante Replikation und verteilte Synchronisation im Mittelpunkt.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • beschreiben charakteristische Merkmale und Eigenschaften verteilter Systeme sowie grundlegende Probleme im Zusammenhang mit ihrer Realisierung. • untersuchen die Unterschiede zwischen lokalen Methodenaufrufen und Fernmethodenaufrufen. • vergleichen Ansätze zur Konvertierung von Nachrichten zwischen verschiedenen Datenrepräsentationen. • konzipieren eine eigene auf Java RMI basierende Anwendung. • entwickeln ein eigenes Fernaufrufsystem nach dem Vorbild von Java RMI. • bewerten die Serialisierungsroutinen von Java RMI. • erproben die manuelle Serialisierung von Nachrichten. • bewerten die Performanz des eigenen Fernaufrufsystems. • gestalten ein Modul zur Unterstützung verschiedener Fernaufrufsemantiken (Maybe, Last-of-Many, At-Most-Once) für das eigene Fernaufrufsystem. • beurteilen auf Basis eigener Experimente mit Fehlerinjektionen die Auswirkungen von Störeinflüssen auf verschiedene Fernaufrufsemantiken. • klassifizieren Mechanismen zur Bereitstellung von Fehlertoleranz, insbesondere verschiedene Arten der Replikation (aktiv vs. passiv). • vergleichen verschiedene Konsistenzgarantien georeplizierter Systeme. • illustrieren das Problem einer fehlenden gemeinsamen Zeitbasis in verteilten Systemen. • erforschen logische Uhren als Mittel zur Reihenfolgebestimmung und Methoden zur Synchronisation physikalischer Uhren. • unterscheiden grundlegende Zustellungs- und Ordnungsgarantien beim Multicast von Nachrichten. • gestalten ein Protokoll für den zuverlässigen und totalgeordneten Versand von Nachrichten in einer Gruppe von Knoten. • entwickeln einen Dienst zur Verwaltung verteilter Sperrobjekte auf Basis von Lamport-Locks. • bewerten die Qualität einer Publikation aus der Fachliteratur. • erschließen sich typische Probleme (Nebenläufigkeit, Konsistenz) und Fehlerquellen bei der Programmierung verteilter Anwendungen. • können in Kleingruppen kooperativ arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten.

		• reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten und Irrwegen umgehen.
7	Prerequisites	Gute Programmierkenntnisse in Java
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio Das Modul wird bestanden bei erfolgreicher Bearbeitung aller 6 Aufgaben zu den erweiterten Übungen (Bewertung jeweils mit "ausreichend") und dem Bestehen einer 30-minütigen mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Portfolio (100%) Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Bewertung der mündlichen Prüfung.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 43400	Entzerrung und adaptive Systeme in der digitalen Übertragung Equalisation and adaptive systems for digital communications	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker
5	Contents	Bei der digitalen Übertragung spielen Kanalverzerrungen aufgrund ständig steigender Datenraten eine immer grössere Rolle. Bei vielen Anwendungen müssen für eine zuverlässige Übertragung komplexe Entzerrverfahren eingesetzt werden. Dies gilt sowohl für die leitungsgebundene als auch die drahtlose Kommunikation. Z.B. werden in der xDSL-Systemfamilie (Digital Subscriber Lines), die eine schnelle digitale Übertragung über Ortsanschlussleitungen gewährleistet, oft entscheidungsrückgekoppelte Entzerrverfahren oder Vorcodierungsverfahren eingesetzt und beim Mobilfunkstandard GSM und seiner Weiterentwicklung EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) Maximum-Likelihood-Sequenzschätzung bzw. zustandsreduzierte Entzerrung. Eng im Zusammenhang mit der eigentlichen Entzerrung stehen Adaptionsverfahren, mit denen die Parameter des Entzerrers optimal an den Übertragungskanal angepasst werden können. Lernziel: Ziel der Vorlesung ist eine umfassende Darstellung gebräuchlicher Entzerrungs- und Adaptionsverfahren. Den Teilnehmern sollen fundierte Kenntnisse der verschiedenen Verfahren vermittelt werden, die sie zu deren sinnvollem Einsatz in der Praxis befähigen. Content: Channel distortions are playing an increasingly important role in digital transmission due to constantly increasing data rates. In many applications, complex equalization techniques must be used for a reliable transmission. This applies to both wired and wireless communication. For example, decision feedback equalization or precoding techniques are often used in the xDSL (Digital Subscriber Lines) system family, which ensures fast digital transmission over local subscriber loops, and the GSM system and its advanced version EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) employ maximum likelihood sequence estimation and state-reduced equalization. Closely related to the task of equalization are adaptation methods with which the parameters of the equalizer can be optimally adjusted to the transmission channel. Objective: The aim of the lecture is a comprehensive presentation of common equalization and adaptation methods. The participants should acquire an in-depth knowledge of the various procedures which enables them to make meaningful design decisions in practice.

6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • beschreiben verschiedene Verfahren zur Entzerrung frequenzselektiver Übertragungskanäle wie lineare Entzerrung, entscheidungsrückgekoppelte Entzerrung und Maximum-Likelihood-Sequenzschätzung, • setzen die verschiedenen Ansätze in Blockdiagramme um und optimieren deren Komponenten, • vergleichen Entzerrverfahren hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit, charakterisiert durch die Fehlerrate, und Komplexität, • wählen geeignete Verfahren für verschiedene Anwendungen wie leitungsgebundene und drahtlose Übertragung aus, • entwerfen neuartige Verfahren für gegebene Anforderungen, • formulieren Adaptionalgorithmen zur automatischen Anpassung des Empfängers eines Übertragungssystems an den Kanal, • ordnen Entzerrverfahren einen geeigneten Adaptionalgorithmus zu. Learning Objectives and Competences: The students - describe various methods for equalizing frequency-selective transmission channels such as linear equalization, decision feedback equalization and maximum likelihood sequence estimation, - realize various approaches in block diagrams and optimize their components, - compare equalization methods in terms of their performance, characterized by the error rate, and complexity, - select suitable methods for various applications such as wired and wireless transmission, - design novel schemes for given requirements, - formulate adaptation algorithms for automatic adaptation of the receiver of a transmission system to the channel, - assign suitable adaptation algorithms to equalization schemes.
7	Prerequisites	Vorkenntnisse in Systemtheorie und digitaler Signalverarbeitung, sowie entweder der Vorlesung Nachrichtentechnische Systeme oder Digitale Übertragung sind für die Teilnahme hilfreich.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral The examination is a 30-minute oral exam. The examination language is English.

11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Gerstacker, W.: Skriptum zur Vorlesung Entzerrung und adaptive Systeme in der digitalen Übertragung. Huber, J.: Trelliscodierung, Springer Verlag, Berlin, 1992. Benedetto, S., Biglieri, E.: Principles of Digital Transmission with Wireless Applications, Kluwer Academic Publishers, New York, 1999. Proakis, J. G.: Digital Communications. McGraw-Hill, New York, 3. ed., 1995. Haykin, S.: Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 3. ed., 1996.

1	Module name 43420	Transmission and Detection for Advanced Mobile Communications Transmission and detection for advanced mobile communications	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Transmission and Detection for Advanced Mobile Communications (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker	
5	Contents	The aim of this lecture is that the students acquire a basic knowledge of advanced transmission and detection techniques which are relevant to practical mobile communications systems. In the first part, it is shown how equalization schemes like decision-feedback equalization (DFE) and maximum-likelihood sequence estimation (MLSE) can be applied to the GSM/EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) standard. Also, channel estimation for GSM/EDGE is covered. In GSM/EDGE, disturbance by interfering signals of other users is a further major problem. Therefore, interference cancellation algorithms are discussed in detail. The cases of several receive antennas and one receive antenna (single antenna interference cancellation) are distinguished. Several receive antennas can be also utilized for increasing the robustness against fading, applying diversity combination techniques. In the case of the availability of several transmit antennas only, additional space-time coding has to be used for realization of diversity gains. These aspects are also discussed in depth. Furthermore, an introduction to code-division multiple access (CDMA) transmission is given and it is shown how CDMA is applied in the UMTS system. The lecture is concluded by an introduction to digital transmission in the Long Term Evolution (LTE) system.	
6	Learning objectives and skills	The students • describe basic equalization algorithms such as decision-feedback equalization (DFE) and maximum-likelihood sequence estimation (MLSE), • apply equalization algorithms to the GSM / Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE) mobile communication system, • formulate channel estimation methods for mobile communication systems, • characterize the interference problem in GSM / EDGE, - design interference suppression schemes for GSM/EDGE for receivers with a single antenna (single antenna interference cancellation) and multiple antennas, respectively, • characterize the performance of mobile communication networks for different reception schemes, • devise receivers for the realization of diversity gains for multiple receive antennas, • design space-time coding schemes for the realization of diversity gains for multiple transmit antennas,	

		- describe transmission schemes which are based on code-division multiple access (CDMA), - apply reception techniques for CDMA to the UMTS system, - characterize the uplink transmission in the Long Term Evolution (LTE) system, - develop receivers for LTE. Die Studierenden - beschreiben grundlegende Entzerrverfahren wie entscheidungsrückgekoppelte Entzerrung (Decision-Feedback Equalization, DFE) und Maximum-Likelihood-Sequenzschätzung (Maximum-Likelihood Sequence Estimation, MLSE), - wenden Entzerrverfahren auf das GSM/EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) Mobilfunksystem an, - formulieren Kanalschätzverfahren für Mobilfunksysteme, - charakterisieren das Interferenzproblem bei GSM/EDGE, - entwerfen Interferenzunterdrückungsverfahren für GSM/EDGE für Empfänger mit einer Antenne (Single Antenna Interference Cancellation) und mehreren Antennen, - bewerten die Leistungsfähigkeit von Mobilfunknetzen bei Einsatz verschiedener Empfangsverfahren, - konzipieren Empfänger zur Realisierung von Diversitätsgewinnen bei empfangsseitiger Antennendiversität - entwerfen Space-Time-Codiervverfahren zur Realisierung von Diversitätsgewinnen bei sendeseitiger Antennendiversität, - beschreiben auf Code-Division Multiple Access (CDMA) basierende Übertragungsverfahren, - wenden Empfangsverfahren für CDMA auf das UMTS-System an, - charakterisieren die Aufwärtsstrecke von Long Term Evolution (LTE), - entwerfen Empfänger für LTE.
7	Prerequisites	Systemtheorie, Nachrichtenübertragung
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Oral exam, 30 minutes.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester

15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Lecture notes

1	Module name 92400	Optische Übertragungstechnik Optical communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Optische Übertragungstechnik Übung (2 SWS) Vorlesung: Optische Übertragungstechnik (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Esther Renner Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß
5	Contents	Kommerzielle Optische Kommunikationssysteme erreichen pro Faser Übertragungskapazitäten von mehreren Tbit/s. Im Labor wurden mehr als 100Tbit/s nachgewiesen. Die Realisierung derartiger Systeme setzt die Beherrschung verschiedenster Techniken der optischen Übertragungstechnik voraus. In der Vorlesung werden Techniken des Zeitbereichs - (TDM) und Wellenlängenmultiplex (WDM), aber besonders auch der Auslegung der Übertragungsstrecke (Link Design) auf der Basis entsprechender physikalischer und signaltheoretischer Grundlagen behandelt und vertieft. Dabei werden Verfahren besprochen, die sicherstellen, dass sowohl die Signalverzerrungen durch lineare und nichtlineare Fasereffekte als auch die Akkumulation des Verstärkerrauschens begrenzt bleiben. Es wird ausführlich die Systemoptimierung hinsichtlich des optischen Signal-Rausch-Verhältnisses (OSNR) diskutiert sowie auf Techniken des Dispersions- und Nichtlinearitätsmanagements (z.B. Solitonenübertragung) eingegangen. Hierbei wird dem Themenkomplex einer optimalen Streckenauslegung besonders eingehend behandelt. In der Folge werden verschiedene, gebräuchliche Modulationsverfahren einschließlich kohärenter Übertragungsverfahren behandelt, die in neueren Systemen eingesetzt und in experimentellen Systemen getestet werden. Eine Besprechung optischer Verfahren zur Signalregeneration bildet die Brücke zu aktuellen eigenen Forschungsarbeiten. Die vermittelten Grundlagen werden in der Übung zur Vorlesung durch praxisnahe und anschauliche Simulationsbeispiele vertieft.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • besitzen spezialisiertes und vertieftes Wissen über die Konzeption und Struktur verschiedener optischer Übertragungssysteme. • können die Qualität optischer Datensignale im Kontext verschiedener Systemkonzepte vergleichen und bewerten • sind in der Lage Streckenauslegungen zu entwickeln und zu optimieren. • besitzen methodische Kenntnis zur Bestimmung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit optischer Übertragungsstrecken unter Einbeziehung aktueller wissenschaftlicher Ergebnisse.
7	Prerequisites	Komponenten optischer Kommunikationssysteme hilfreich aber nicht obligatorisch

8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Agrawal, G.P.: Fiber-Optic Communication Systems, John Wiley & Sons, 1997 Agrawal, G.P.: Nonlinear Fiber Optics, John Wiley & Sons, 3. Auflage, 2001 Kaminow, I, Koch, T.: Optical Fiber Telecommunications IVA, Academic Press, 2002 Skriptum zur Vorlesung Kaminow, I, Li, T., Willner, A.: Optical Fiber Telecommunications VA, Academic Press, 2008

1	Module name 96260	Integrierte Schaltungen für Funkanwendungen	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Heinrich Milosiu
5	Contents	• Transceiver-Architekturen • Hochfrequenzaspekte • Transistoren und Technologien • Passive Bauelemente und Netzwerke • Rauscharme Vorverstärker • Mischer • Oszillatoren • Phasenregelschleifen und Synthesizer • Messtechnische Grundlagen
6	Learning objectives and skills	Nach der Teilnahme an den Modulveranstaltungen sind die Studierenden in der Lage: • Den Aufbau sowie Vor- und Nachteile von Transceiver-Architekturen zu verstehen • Hochfrequenzaspekte von Transistoren und Schaltungen zu analysieren • Geeignete Integrationstechnologien auszuwählen • Passive Bauelemente und Netzwerke zu verstehen und anzuwenden • Schaltungstopologien rauscharmer Vorverstärker, Mischer, Oszillatoren anzuwenden und zu analysieren
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Klausur, 90min
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96270	Kanalcodierung Channel coding	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Channel Coding (4 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer
5	Contents	1) Introduction and Motivation 2) Fundamentals of Block Coding 3) Introduction to Finite Fields I 4) Linear Block Codes 5) Linear Cyclic Codes 6) Introduction to Finite Fields II 7) BCH and RS Codes 8) Convolutional Codes 9) Codes with Iterative Decoding
6	Learning objectives and skills	Das Modul Kanalcodierung umfasst eine Einführung in die Grundlagen der algebraischen, fehlerkorrigierenden Blockcodes sowie einen Einstieg in die Thematik der Faltungscodes. Iterativ decodierte Codeschemata wie Turbo-Codes und LDPC-Codes werden ebenfalls eingeführt. Im Einzelnen sind die Inhalte oben aufgeführt. Die Studierenden definieren die Problematik der Kanalcodierung, grenzen sie von anderen Codierv Verfahren (z.B. der Quellencodierung) ab und kennzeichnen die unterschiedlichen Ansätze zur Fehlerkorrektur und -erkennung. Sie nennen Beispiele für Einsatzgebiete von Kanalcodierung und geben einen Überblick über die historische Entwicklung des Fachgebiets. Die Studierenden erstellen Übertragungsszenarien für den Einsatz von Kanalcodierung bestehend aus Sender, Übertragungskanal und Empfänger und beachten dabei die Grundannahmen beim Einsatz von Blockcodes bzw. der Modellierung der Kanäle. Sie formulieren mathematische Beschreibungen der Encodierung sowie der optimalen Decodierung bzw. suboptimaler Varianten. Die Studierenden beherrschen die Grundlagen fehlerkorrigierender linearer Blockcodes, beschreiben diese mathematisch korrekt mittels Vektoren und Matrizen über endlichen Körpern und implementieren und bewerten zugehörige Encoder- und Decoderstrukturen insbesondere Syndromdecoder. Dabei modifizieren sie Generatormatrizen, ermitteln Prüfmatrizen und erstellen Syndromtabellen. Sie schätzen die minimale Hammingdistanz von Codes mittels Schranken ab und können den erzielbaren Codegewinn erläutern. Sie kennen und benutzen beispielhaften Codefamilien (z.B. Hamming-Codes, Simplex-Codes, Reed-Muller-Codes). Die Studierenden erkennen die Vorteile zyklischer linearer Blockcodes und beschreiben diese mit Polynomen über endlichen Körpern. Sie nutzen die Restklassenrechnung bzgl. Polynomen zur Umsetzung systematischer Encoder und zur Realisierung von Syndromdecodern mittels Schieberegisterschaltungen. Sie kennen beispielhafte Codefamilien.

Die Studierenden nutzen Primkörper, Erweiterungskörper, Minimalpolynome und Kreisteilungsklassen sowie die Spektraldarstellung über endlichen Körpern zur Realisierung von BCH- und Reed-Solomon-Codes gemäß der BCH-Schranke. Sie verstehen die Grundlagen der Decodierung von BCH- und Reed-Solomon-Codes. Sie skizzieren und erläutern die Kanalcodierkonzepte von CD und DVD. Die Studierenden erklären die Unterschiede von Faltungs- und Blockcodes, skizzieren anhand von tabellierten Generatorpolynomen zugehörige Encoder und erläutern diese. Sie erklären die Funktionsweise des optimalen Decoders (MLSE) und demonstrieren diese beispielhaft.

Die Studierenden verstehen die Grundlagen der iterativen Decodierung, insbesondere wenden sie die Grundlagen des Information Combining zur Kombination von verschiedenen Beobachtungen an. Sie verstehen die Bedeutung von Log-Likelihood-Ratios bei iterativen Decodieruvorgängen und berechnen diese. Sie skizzieren die grundlegenden Encoder- und Decoderstrukturen von Turbo-Codes und die Grundzüge der Codierung mit LDPC-Codes u.a. der Decodierung mittels Belief Propagation.

Die Vorlesung erfolgt wechselweise auf Deutsch oder Englisch (Winter/Sommer). Die zur Verfügung gestellten Unterlagen sind ausschließlich in Englisch gehalten. Die Studierenden verwenden entweder die englischen Fachtermini sicher oder kennen diese und drücken sich sicher mit den entsprechenden deutschen Fachbegriffen aus.

Die Umsetzung der angegebenen Algorithmen in eine Programmiersprache (C, Matlab usw.) sollten die Studierenden zu diesem Zeitpunkt des Studiums üblicherweise beherrschen. Übungen hierzu bleiben der Eigeninitiative überlassen.

Students define the problems of channel coding, how to distinguish it from other coding methods (such as source coding) and how to describe the various different approaches to error correction and detection. They are able to list example application areas of channel coding and give an overview of the historical development of the field.

Furthermore, they describe and analyze transmission scenarios for the application of channel coding which consist of transmitter, transmission channel and receiver, taking into account the general assumptions for applying block codes or modeling the channels. They formulate mathematical descriptions of encoding, optimal decoding and sub-optimal methods.

Students illustrate the principles of error-correcting linear block codes and describe them mathematically using vectors and matrices over finite fields. They implement and analyze corresponding encoder and decoder structures, in particular syndrome decoders, and modify generator matrices, construct test matrices and create syndrome tables. They estimate the minimum Hamming distance of codes using bounds and are able to explain the coding gain that can be achieved in individual cases. They analyze and use example code families (e.g. Hamming codes, simplex codes, Reed-Muller codes).

		Students explain the advantages of cyclic linear block codes and how to describe them with polynomials over finite fields. They apply polynomial modular arithmetic to implement systematic encoders and realize syndrome decoders using shift register circuits. They know and use exemplary code families. Students use prime fields, extension fields, minimal polynomials and cyclotomic cosets, and spectral representation over finite fields to implement BCH and Reed-Solomon codes using the BCH bound. They understand the foundations of decoding BCH and Reed-Solomon codes and how to sketch and explain the channel coding concepts of CDs and DVDs. Students are able to describe the differences between convolutional codes and block codes, to sketch the respective encoders based on tabulated generator polynomials and to explain them. They are able to explain how optimal decoders (MLSE) work using examples. Students sketch the foundations of iterative decoding. In particular, they apply methods of information combining to combine different observations. They use and calculate log-likelihood ratios in iterative decoding processes, sketch the basic encoding and decoding structures of turbo codes and the basics of coding using LDPC codes (including decoding using belief propagation). Students either are able to use the English technical terms correctly or know them and are able to express themselves using the respective technical terms in German.
7	Prerequisites	Es ist hilfreich, wenn die Studierenden die erlernten Algorithmen in eine Programmiersprache (C, Matlab usw.) umsetzen können. It would be very helpful if the participants can implement the specified algorithms into a programming language (C, Matlab, etc.).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Die Prüfung ist eine 90-minütige schriftliche Klausur. Hilfsblatt, Taschenrechner: Sie können ein einzelnes A4-Blatt (Vorder- und Rückseite oder andere Blätter mit offensichtlich identischer Gesamtfläche) verwenden, um Ihre eigene, handschriftliche Formelsammlung aufzuschreiben. Sie können einen nicht programmierbaren Taschenrechner verwenden. The examination is a 90-minute written test.

		Cheat Sheet, Calculator: A single A4 sheet (front and back, or any other collection of sheets with an obviously identical total area size) can be used to write down your own handwritten collection of formulas, etc. You may also bring a non-programmable calculator.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	• J. Huber, R. Fischer, C. Stierstorfer: Folien zur Vorlesung • M. Bossert: Kanalcodierung, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 3. Auflage, 2013 • M. Bossert: Channel Coding for Telecommunications, John Wiley & Sons, 1999 • B. Friedrichs: Kanalcodierung, Springer Verlag, 1996 • S.B. Wicker: Error Control Systems for Digital Communications and Storage, Prentice-Hall, 1995

1	Module name 96410	Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik Circuits and Systems of Transmission Techniques	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übungen zu Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik (2 SWS) Vorlesung: Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Maximilian Lübke Victor Shatov Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	
5	Contents	Im Rahmen dieses Modules werden die Grundlagen und technische Ausführung Übertragungstechniken vermittelt. Fokus liegt dabei auf dem Automotivebereich. Elektrofahrzeuge werden nicht nur die heute bereits in der Oberklasse verfügbaren Fahrassistenzsysteme nutzen sondern weitere E-Mobility spezifische Anwendung insbesondere zur Energie- und Reichweitoptimierung. Drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinrichtungen, zwischen Fahrzeugen untereinander, genaue Ortung und Streckenprognose sowie autonomes energiesparendes Fahren mit Radar-Abstandsreglung spielen hier eine wichtige Rolle. In diesem Modul werden diese modernen Entwicklungen adressiert und die dafür notwendigen Grundlagen erarbeitet. Grundlagen: • Funkkanaleigenschaften • Modellierung • Modulation, Codierung, Vielfachzugriff Fahrzeugkommunikationssysteme: • Übertragungssysteme für die Fahrassistenz • Car-to-Car und Car-to-X-Kommunikation • Breitbandige In-Car-Datenübertragung Fahrzeugsensorik: • Fahrzeugortung (lokal und global) • Automobilradar und Umfeldüberwachung • Sensorische Erfassung von Bioparametern im Fahrzeug	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden sind nach der erfolgreichen Teilnahme am Modul in der Lage: Funkkanaleigenschaften und Modelle für spezifische Anwendungs- und Betriebsszenarien anzuwenden Modulationstechniken zu erläutern und zu analysieren Moderne Codierungs- und Vielfachzugriffstechniken zu erläutern Architekturen und Anwendungen von Fahrzeugkommunikationssystemen zu erläutern und zu analysieren Architekturen und Anwendungen von Fahrzeugsensoriksystemen zu erläutern und zu analysieren	
7	Prerequisites	None	
8	Integration in curriculum	semester: 1	

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral • Sommersemester: schriftliche Klausur (90 min); • Wintersemester: mündliche Prüfung (30 min).
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96430	Statistical Signal Processing Statistical signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Heinrich Löllmann
5	Contents	The course concentrates on fundamental methods of statistical signal processing and their applications. The main topics are: *Discrete-time stochastic processes in the time and frequency domain* Random variables (RVs), probability distributions and densities, expectations of random variables, transformation of RVs, vectors of normally distributed RVs, time-discrete random processes: probability distribution and densities, expectation, stationarity, cyclostationarity, ergodicity, correlation functions and correlation matrices, spectral representations, principal component analysis (PCA), Karhunen-Loève transform (KLT). *Estimation theory* estimation criteria, prediction, classical and Bayesian parameter estimation (including MMSE, Maximum Likelihood, and Maximum A Posteriori estimation), Cramer-Rao bound *Linear signal models* Parametric models (cepstral decomposition, Paley-Wiener theorem, spectral flatness), non-parametric models (all-pole, all-zero and pole-zero models, lattice structures, Yule-Walker equations, PARCOR coefficients, cepstral representation) *Signal estimation* Supervised estimation, problem classes, orthogonality principle, MMSE estimation, linear MMSE estimation for normally distributed random processes, optimum FIR filtering, optimum linear filtering for stationary processes, prediction and smoothing, Kalman filters, optimum multichannel filtering (Wiener filter, LCMV, MVDR, GSC) *Adaptive filtering* Gradient methods, LMS, NLMS, APA and RLS algorithms and their convergence behavior *Zeitdiskrete Zufallsprozesse im Zeit- und Frequenzbereich* Zufallsvariablen (ZVn), Wahrscheinlichkeitsverteilungen und dichten, Erwartungswerte; Transformation von ZVn; Vektoren normalverteilter ZVn; zeitdiskrete Zufallsprozesse (ZPe): Wahrscheinlichkeitsverteilungen und dichten, Erwartungswerte, Stationarität, Zyklstationarität, Ergodizität, Korrelationsfunktionen und -matrizen, Spektraldarstellungen; Principal Component Analysis, Karhunen-Loeve Transformation; *Schätztheorie* Schätzkriterien; Prädiktion; klassische und Bayessche Parameterschätzung (inkl. MMSE, Maximum Likelihood, Maximum A Posteriori); Cramer-Rao-Schranke *Lineare Signalmodelle*

		Parametrische Modelle (Cepstrale Zerlegung, Paley-Wiener Theorem, Spektrale Glattheit); Nichtparametrische Modelle: Allpole-/Allzero-/Pole-zero-(AR/MA/ARMA) Modelle; Lattice-Strukturen, Yule-Walker Gleichungen, PARCOR-Koeffizienten, Cepstraldarstellungen; *Signalschätzung* Überwachte Signalschätzung, Problemklassen; Orthogonalitätsprinzip, MMSE-Schätzung, lineare MMSE-Schätzung für Gaußprozesse; Optimale FIR-Filter; Lineare Optimalfilter für stationäre Prozesse; Prädiktion und Glättung; Kalman-Filter; optimale Multikanalfilterung (Wiener-Filter, LCMV, MVDR, GSC); *Adaptive Filterung* Gradientenverfahren; LMS-, NLMS-, APA- und RLS-Algorithmus und Ihr Konvergenzverhalten.
6	Learning objectives and skills	The students: - analyze the statistical properties of random variables, random vectors, and stochastic processes by probability density functions and expectations as well as correlation functions and matrices and their frequency-domain representations - know the Gaussian distribution and its role to describe the properties of random variables, vectors and processes - understand the differences between classical and Bayesian estimation, derive and analyze MMSE and ML estimators for specific estimation problems, especially for signal estimation - analyze and evaluate optimum linear MMSE estimators (single- and multichannel Wiener filter and Kalman filter) for direct and inverse supervised estimation problems - evaluate adaptive filters for the identification of optimum linear estimators. Die Studierenden - analysieren die statistischen Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und stochastischen Prozessen mittels Wahrscheinlichkeitsdichten und Erwartungswerten, bzw. Korrelationsfunktionen, Korrelationsmatrizen und deren Frequenzbereichsdarstellungen - kennen die spezielle Rolle der Gaußverteilung und ihre Auswirkungen auf die Eigenschaften von Zufallsvariablen, -vektoren und Prozessen - verstehen die Unterschiede klassischer und Bayesscher Schätzung, entwerfen und analysieren MMSE- und ML-Schätzer für spezielle Schätzprobleme, insbesondere zur Signalschätzung - analysieren und evaluieren lineare MMSE-optimale Schätzer (ein- und vielkanalige Wiener-Filter und Kalman-Filter) für direkte und inverse überwachte Schätzprobleme; - evaluieren adaptive Filter zur Identifikation optimaler linearer Signalschätzer
7	Prerequisites	Module Signale und Systeme I und Signale und Systeme II, Digitale Signalverarbeitung oder gleichwertige

8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	A. Papoulis, S. Pillai: Probability, Random Variables and Stochastic Processes; McGraw-Hill, 2002 (englisch) D. Manolakis, V. Ingle, S. Kogon: Statistical and Adaptive Signal Processing; Artech House, 2005 (englisch)

1	Module name 96875	Ausgewählte Kapitel der Audiodatenreduktion Advanced topics in perceptual audio coding	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Herre	
5	Contents	Perceptual audio coding is ubiquitous in modern life (mp3 players, mobile phones, DVD players, computers, ...) Based on related classes (esp. Speech and Audio Processing"), this lecture aims at deepening the understanding of modern algorithms for perceptual source coding of audio. It includes an overview of the most relevant standardized coders, starting with MPEG-1 (incl. mp3) via MPEG-4 all the way to the most recent MPEG Audio standard. The significant algorithms are discussed and new approaches are described. The selected topics include: Efficient coding of several audio channels / parametric multi- channel coding Typical coding artifacts; subjective and objective quality assessment Scalable audio coding Bandwidth extension Semi-parametric audio coding Low-delay audio coding The lecture includes a number of demonstrations and audio examples to illustrate the discussed algorithms.	
6	Learning objectives and skills	• Wissen - Die Studenten kennen die Hauptkomponenten eines gehörangepassten Audiocodexs, sowie die wichtigsten Algorithmen, Codierstrategien und Bewertungsmethoden. Weiterhin kennen sie die Terminologie und gängige Abkürzungen aus diesem Kontext. • Verstehen - Die Studenten verstehen, wie Designentscheidungen in Audiocodexs die letztendlich erreichte Audioqualität beeinflussen, verstehen die gebräuchlichsten Tools aus dem Bereich der gehörangepasste Audiocodierung und wie verschiedene Anwendungsszenarien das Coderdesign bestimmen. • Anwenden - Die Studenten können übliche mathematische Analysemethoden verwenden, um einfache Coder-Componenten zu beschreiben und gegebenenfalls zu modifizieren. • Analysieren - Die Studenten können Audiocodierungs-Standards und wahrnehmungsbasierte Messwerkzeuge dazu analysieren um die zugrundeliegenden Konzepte und Anforderungen zu erfassen. • Evaluieren (Beurteilen) - Die Studenten können Audiocodierungs-Standards und wahrnehmungsbasierte	

		Messwerkzeuge evaluieren um zu beurteilen, welcher Standard bzw. welches Messwerkzeug das passendste ist für einen bestimmten Anwendungsfall. • Synthese - Die Studenten können eine Liste von Anforderungen und Bewertungskriterien für Audiocodecs zusammenstellen für gewünschte Anwendungsfälle. • Lern- bzw. Methodenkompetenz - Die Studenten hinterfragen bestehende Ansätze hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Prüfung: Mündlich, 30min.
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 151664	Advanced Communication Networks Advanced communication networks	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Advanced Communication Networks - Tutorial (0,5 SWS) Vorlesung: Advanced Communication Networks (3,5 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Christian Forsch Prof. Dr. Laura Cottatellucci	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci
5	Contents	Telecommunications have become ubiquitous in daily life and wireless networks play a fundamental role thanks to their capability to support mobility. In a wireless communication, the concept of link does not exist. Users radiate energy and communicate through the superposition of each others transmissions which creates interference. Compared to wireline networks this scenario is extremely challenging but also offers unpredictable opportunities in the development of new technologies (massive MIMO, cognitive radio, etc.) and exploitation of new features, e.g., opportunistic communications and multiuser diversity. The exponentially increasing request of higher and higher throughput is satisfied densifying users and access points per unit area and allowing more and more interference while adopting advanced techniques and innovative resource allocation to mitigate the detrimental effects of interference. Objective of this course is to introduce the student to advanced techniques for coordinated medium access control and radio resource management in cellular systems. Power allocation, rate adaptation and scheduling will be discussed both in centralized and distributed settings. Some mathematical methods play a fundamental role in resource allocation, namely, classical Perron-Frobenius theory for nonnegative matrices, convex and nonconvex constrained optimization, distributed optimization and game theory. The course introduces the student to such methods and exemplifies their application to various resource allocation problems. Additionally, the course addresses relevant aspects of resource allocation in wireless networks such as fairness and cross-layer design. *Technical Content* • Properties and challenges of the wireless medium. • Basic concepts of communication networks: the layered architecture. • Evolution of wireless cellular network architectures: From Global System for Mobile to Advanced-Long Term Evolution. • Multiple Access Schemes: CSMA variants, TDMA, FDMA, CDMA, OFDMA, SC-FDMA, SDMA. • Uplink-downlink duality. • Opportunistic scheduling and multiuser diversity.

		• Advanced concepts: small cells and heterogeneous networks, relaying and cooperation, network coding, cognitive radio networks. • Basics of resource allocation: power allocation, rate adaptation, and scheduling. • Classical resource allocation techniques: Centralized and distributed power control based on the Perron-Frobenius theorem. • Fundamentals of convex constrained optimization and application to resource allocation. • Resource allocation and fairness. • Fundamentals of nonconvex optimization and relaxation techniques. • Applications of nonconvex optimization to resource allocation. • Fundamentals of distributed optimization and applications to resource allocation. • Fundamental concepts of game theory. • Resource contention via game theoretical methods.
6	Learning objectives and skills	The student • Describes and/or recognizes wireless channel models. • Criticizes the limits of a layered architecture in wireless systems. • Defends the use of cross-layer design in wireless network. • Appraises and compares the distribution of functionalities in network entities for different architectures. • Argue on the pros and contras of different multiple access schemes according to various criteria (e.g. spectral efficiency, power efficiency, robustness to interference). • Compares and contrasts micro-diversity and various macro-diversity schemes. • Computes the total rate of SDMA with various receivers. • Relates the multiple access in uplink to broadcasting in downlink and justifies the concept of uplink-downlink duality. • Uses uplink-downlink duality to design a precoder and allocate power. • Contrasts multiple access in uplink and broadcasting in downlink in terms of channel state acquisition both for TDD and FDD transmission. • Uses multiuser diversity for opportunistic scheduling. • Compares multiuser diversity for users having identical and different channel statistics. • Contrasts opportunistic scheduling in terms of channel state acquisition and feedback both for uplink and downlink and for both FDD and TDD transmission schemes. • Appraises the impact of multiple antennas on opportunistic scheduling. • Analyses different settings with interference in small cells and designs countermeasures. • Categorizes relaying schemes in LTE.

		- Analyses performance of relaying schemes. - Argues on possible improvements of relaying schemes via network coding and physical layer network coding. - Uses the Perron-Frobenious theorem to allocate power in a centralized manner. - Judges the feasibility of a power control problems and formulates alternative approaches in case of unfeasibility. - Uses the Perron-Frobenious theorem to design a distributed power control scheme. - Judges the convergences of distributed power control based on the Perron-Frobenius theorem and appraises the robustness of asynchronous power control. - Applies techniques of convex optimization to discriminate convex problems and determine necessary and/or sufficient conditions for global optimality. - Judges the applicability of KKT conditions and duality. - Uses KKT conditions to solve convex optimization problems. - Uses duality to solve convex optimization problems. - Applies convex optimization to resource allocation in wireless communications. - Compares different definitions of fairness and applies them to rate allocation. - Appraises the effect of channel knowledge at the transmitter on different fairness criteria. - Applies KKT conditions for opportunistic user scheduling. - Describes a proportional fair algorithm for opportunistic scheduling. - Applies relaxation to nonconvex quadratic constrained quadratic programming. - Formulates resource allocation problems as constrained optimization programming. - Contrasts various distributed optimization methods. - Applies the concept of best response to determine Nash equilibria. - Argues about existence and uniqueness of Nash equilibria. - Assesses if a given game is a potential game and solves it. - Defends the concept of Pareto optimality in resource allocation. - Contrasts the concepts of pure and mixed strategies in game theory. - Uses coupled constrained concave game to allocate powers in heterogeneous networks.
7	Prerequisites	Information Theory and Coding It is advisable that the student is familiar with basic concepts of Mobile Communications
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes) Oral exam, 30 minutes
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 44130	Pattern Recognition Pattern recognition	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Mathematical foundations of machine learning based on the following classification methods: • Bayesian classifier • Logistic Regression • Naive Bayes classifier • Discriminant Analysis • norms and norm dependent linear regression • Rosenblatt's Perceptron • unconstraint and constraint optimization • Support Vector Machines (SVM) • kernel methods • Expectation Maximization (EM) Algorithm and Gaussian Mixture Models (GMMs) • Independent Component Analysis (ICA) • Model Assessment • AdaBoost Mathematische Grundlagen der maschinellen Klassifikation am Beispiel folgender Klassifikatoren: • Bayes-Klassifikator • Logistische Regression • Naiver Bayes-Klassifikator • Diskriminanzanalyse • Normen und normabhängige Regression • Rosenblatts Perzeptron • Optimierung ohne und mit Nebenbedingungen • Support Vector Maschines (SVM) • Kernelmethoden • Expectation Maximization (EM)-Algorithmus und Gaußsche Mischverteilungen (GMMs) • Analyse durch unabhängige Komponenten • Modellbewertung • AdaBoost
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Struktur von Systemen zur maschinellen Klassifikation einfacher Muster • erläutern die mathematischen Grundlagen ausgewählter maschineller Klassifikatoren • wenden Klassifikatoren zur Lösung konkreter Klassifikationsproblem an

		• beurteilen unterschiedliche Klassifikatoren in Bezug auf ihre Eignung • verstehen in der Programmiersprache Python geschriebene Lösungen von Klassifikationsproblemen und Implementierungen von Klassifikatoren Students • understand the structure of machine learning systems for simple patterns • explain the mathematical foundations of selected machine learning techniques • apply classification techniques in order to solve given classification tasks • evaluate various classifiers with respect to their suitability to solve the given problem • understand solutions of classification problems and implementations of classifiers written in the programming language Python
7	Prerequisites	• Well grounded in probability calculus, linear algebra/matrix calculus • The attendance of our bachelor course 'Introduction to Pattern Recognition' is not required but certainly helpful. • Gute Kenntnisse in Wahrscheinlichkeitsrechnung und Linearer Algebra/Matrizenrechnung • Der Besuch der Bachelor-Vorlesung 'Introduction to Pattern Recognition' ist zwar keine Voraussetzung, aber sicherlich von Vorteil.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english english

16	Bibliography	• Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stock: Pattern Classification, 2nd edition, John Wiley&Sons, New York, 2001 • Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman: The Elements of Statistical Learning - Data Mining, Inference, and Prediction, 2nd edition, Springer, New York, 2009 • Christopher M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, New York, 2006

1	Module name 554695	Nebenläufige Systeme Concurrent systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 93015	Einführung in die moderne Kryptographie Introduction to modern cryptography	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Carina Harrius Prof. Dr. Dominique Schröder
5	Contents	This course gives a comprehensive introduction to modern cryptography. The course also serves as a base for other courses on cryptography that are offered by the chair. The topics covered are the following: • Information theoretic security • Computational security • Private key Encryption • Message Authentication Codes • Hash functions • Public key Encryption • Digital Signatures More advanced topics may be covered if time permits.
6	Learning objectives and skills	On successfully passing the course, the student is guaranteed to be knowledgeable on the basic concepts of provable security.
7	Prerequisites	No previous knowledge in Cryptography or computer Security is required.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 165 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Introduction to Modern Cryptography Jonathan Katz and Yehuda Lindell 2nd Edition (2014)

	(Chapman & Hall/CRC Cryptography and Network Security Series)
	ISBN-13: 978-1466570269

1	Module name 43141	Mobile Communications Mobile communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Mobile Communications - Tutorial (1 SWS) Vorlesung: Mobile Communications (3 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Levi-Pascal Bohnacker Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller
5	Contents	History of mobile communications, cellular systems, sectorization, spectral efficiency, co-channel interference, adjacent-channel interference, near-far effect, cellular network architecture, antenna types and parameters, free space propagation, reflection, attenuation, diffraction, scattering, classification of channel models, ground reflection model, Okumura-Hata model, shadowing, narrow-band fading, time-variant channels, scattering function, delay-Doppler spectrum, diversity principles, combining methods, diversity gain, multiplexing, duplexing, digital modulation, Gaussian filtered minimum shift keying, basics of channel coding, interleaving, global system for mobile communications, physical versus logical channels, frame structure, call set-up, synchronization, channel estimation, hand-off
6	Learning objectives and skills	The students explain the cellular structure of mobile communication systems. They students explain the physical mechanics of radio wave propagation in the cm-band. The students explain the GSM cellular communications standard. The students discuss the pros and cons of several multiple-access and duplexing methods. The students discuss the pros and cons of several modulation and coding formats. The students decide which antenna type is suitable for a given morphological structure of the environment. The students predict the amplitude and dynamic of the attenuation between a mobile transmitter and a fixed receiver. The students utilize diversity methods to improve the link quality. The students determine the coverage probability of a given cellular communication system. The students collaborate on solving exercise problems. The students discuss which system solutions fit to which environments.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Proakis, J.: Digital Communications, McGraw-Hill, 4th ed., 2001. Rappaport, T.: Wireless Communications: Principles & Practice, Prentice Hall, 2nd ed., 2001. Mouly, M., Paulet, M.: The GSM System for Mobile Communications, Cell & SYS, France, 1992. Goldsmith, A.: Wireless Communications, Cambridge Univ. Press, 2005.

1	Module name 96880	Speech Enhancement Speech enhancement	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Emanuël Habets
5	Contents	Description We live in a noisy world! In all applications related to speech, from hands-free communication to human-machine interfaces, a speech signal of interest captured by one or more microphones is contaminated by noise and reverberation. The quality and intelligibility of the signal of interest depend highly on the level of noise and reverberation. Therefore, it is highly desirable, and sometimes even indispensable, to "clean up" the captured signals before storage, transmission, or reproduction. This course discusses both model-driven and data-driven methods to estimate the signal of interest and aims to provide a strong foundation for researchers, engineers, and graduate students interested in signal and speech enhancement. Relation to other courses This course is the most advanced course offered by the university on this topic and serves as an excellent basis from which to commence research in the area. Various aspects of the course bring students up to date with the very latest developments in the field, as seen in recent international conferences and journals. This course is well complimented by [Selected Topics in Perceptual Audio Coding] (Prof. Herre) and [Auditory Models] (Prof. Edler).
6	Learning objectives and skills	• Formulate the speech enhancement problem mathematically. • Derive optimal single- and multi-channel filters to reduce noise and reverberation. • Evaluate and compare the performance of single- and multi-channel filters for speech enhancement. • Understand how reference signals and other prior information can be used in a speech enhancement system. • Understand the limitations and challenges of existing speech enhancement systems. • Understand the importance of binaural cues and the influence of a speech enhancement system on the binaural cues in the context of hearing aids. • Design a microphone array and analyze its performance. • Design a speech enhancement system for a given acoustic scenario.

		Evaluate subjectively and objectively the performance of a speech enhancement system in terms of speech quality and intelligibility.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	

1	Module name 250058	Signal Analysis Signal analysis	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Heinrich Löllmann	
5	Contents	Es werden im Rahmen dieser Vorlesung unterschiedliche Verfahren zur Analyse digitaler Signale, sowie deren Anwendungsmöglichkeiten behandelt. Die folgenden Konzepte werden dabei insbesondere behandelt: • Fourieranalyse von Signalen • Signalanalyse mittels Zeit-Frequenz-Transformationen • Parametrische und nichtparametrische Signalanalyse • Verfahren zur Frequenzschätzung • Räumliche Signalanalyse • Filterbänke und Wavelets. In this course, different approaches for the analysis of digital signals and their applications are treated, which comprises the following topics: • Fourier analysis of signals • Signal analysis by means of time-frequency transformations • Parametric and non-parametric signal analysis • Frequency estimation • Spatial signal analysis • Filter-banks and wavelets.	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • beschreiben, welche Methoden der Signalanalyse für unterschiedlichen Arten von Signalen angewendet werden • beschreiben grundlegende Methoden der spektralen Signalanalyse • erläutern wodurch die spektrale und zeitliche Auflösung bei der Spektralanalyse von Signalen begrenzt wird • beschreiben die Konzepte sowie die Vor- und Nachteile der parametrischen und nichtparametrischen Signalanalyse • erklären unterschiedliche Verfahren der Zeit-Frequenz-Analyse • stellen die Analyse von Signalen mittels Filterbänke und Wavelets dar • können Verfahren zur Frequenzschätzung erläutern • formulieren Verfahren zur Analyse räumlicher Signale. The students • describe which methods for signal analysis can be applied for different types of signals • describe fundamental approaches for spectral signal analysis • explain the limiting factors for the time and frequency resolution for the spectral analysis of signals • describe concepts as well as the pros and cons of parametric and non-parametric signal analysis	

		• explain different approaches for time-frequency analysis • describe the analysis of signals by means of filter-banks and wavelets • explain methods for frequency estimation • formulate approaches for spatial signal analysis.
7	Prerequisites	Fundierte Kenntnisse in digitaler Signalverarbeitung. Requirements Solid knowledge in digital signal processing
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 min. Oral examination of 30 min duration.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	P. Stoica und R. Moses: "Spectral Analysis of Signals", Pearson Prentice Hall, 2005

1	Module name 498723	Transformationen in der Signalverarbeitung Transforms in signal processing	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Transformationen in der Signalverarbeitung (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Jürgen Seiler	

4	Module coordinator	Jürgen Seiler
5	Contents	Das Modul "Transformationen in der Signalverarbeitung" behandelt mehrere verschiedene Transformationen, die im Rahmen der Signalverarbeitung Verwendung finden. Dabei werden zuerst die grundlegenden Konzepte von Transformationen diskutiert und die Vorteile die Transformationen mit sich bringen erläutert. Im Anschluss daran werden die grundlegenden Eigenschaften von Integraltransformationen betrachtet und die Laplace- und die Fourier-Transformation im Detail untersucht. Um auch zeitlich veränderliche Signale gut transformieren zu können werden danach die Kurzzeit-Fourier-Transformation und die Gabor-Transformation eingeführt. Im Anschluss daran erfolgt eine Betrachtung der Auswirkung der Abtastung auf transformierte Signale, bevor die z-Transformation als Transformation für diskrete Signale behandelt wird. Abschließend erfolgt die Betrachtung weiterer Transformationen für diskrete Signale wie der Diskreten Fourier-Transformation oder linearer Block-Transformationen. The module "Transforms in Signal Processing" covers several different transforms which are used in the field of signal processing. For this, first the basic concepts of transforms are discussed and the advantages which are offered by the different transforms are presented. Subsequent to this, fundamental properties of integral transforms are considered and the Laplace- and the Fourier-Transform are examined in detail. To be able to transform time-varying signals, the Short-Time Fourier-Transform and the Gabor-Transform are introduced, afterwards. Subsequent to this, the impact of sampling on transformed signals is analyzed before the z-Transform as a transform for discrete signals is covered. Finally, further transforms for discrete signals like the Discrete Fourier-Transform or Linear-Block Transforms are discussed.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden können nach Besuch der Vorlesung • Anwendungsmöglichkeiten von Transformationen bestimmen • Integraltransformationen gegenüberstellen und untersuchen • die Existenz von Transformationen hinterfragen • die Eindeutigkeit von Transformationen überprüfen • Sätze und Eigenschaften von Transformationen entwickeln • zu Transformationen zugehörige inverse Transformationen einschätzen • die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Transformationen einschätzen • auf Zusammenhänge zwischen Ausgangssignalen und transformierten Signalen folgern • Symmetriebeziehungen von Transformationen ausarbeiten

		• Zusammenhänge zwischen kontinuierlichen und diskreten Signalen ausarbeiten Educational Objectives and Competences: After attending the lecture, students will be able to • determine applications of transforms • contrast and examine integral transforms • question the existence of transforms • evaluate the uniqueness of transforms • develop theorems and properties of transforms • evaluate to transforms corresponding inverse transforms • evaluate the relationships between different transforms • assess the relationship between original signal and transformed signals • devise the symmetry properties of transforms • devise the relationship between continuous and discrete signals
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Mündliche Prüfung von 30 min Dauer.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	K. Krüger, Transformationen - Grundlagen und Anwendungen in der Nachrichtentechnik, Vieweg Verlag, Braunschweig B. Girod, R. Rabenstein, A. Stenger, Einführung in die Systemtheorie, B. G. Teubner Verlag, Stuttgart

1	Module name 502007	Musiksignalverarbeitung - Synthese Music processing - synthesis	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Maximilian Schäfer	
5	Contents	• Verarbeitung von Audiosignalen durch parametrische Filter und Effekte • Erzeugung von künstlichen Klängen mit Mitteln der digitalen Klangsynthese • Klangwiedergabe in echten und virtuellen Räumen • Klangbeispiele und Demonstrationen • Programmiersprachen für Audio-Echtzeit-Verarbeitung *Content*: • a short history of electrical and electronic music • processing of audio signals by parametric filters and effects • digital sound synthesis • sound reproduction in real and in virtual environments • sound examples and demonstrations • programming languages for audio real-time processing	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • beschreiben die speziellen Anforderungen für Audio-Echtzeit-Verarbeitung, • wenden ihre theoretischen Kenntnisse zeitdiskreter Signale und Systeme für die Verarbeitung und Erzeugung musikalischer Klänge an, • gestalten eigene Software-Realisierungen zur Klangsynthese, • entwerfen technische Systeme für musikalisch motivierte Aufgabenstellungen. The students • specify the special requirements for audio realtime processing, • apply their theoretical knowledge about discrete-time signals and systems to processing and synthesis of musical sounds, • design their own software realizations for sound synthesis • implement technical systems for digital music.	
7	Prerequisites	None	
8	Integration in curriculum	semester: 1	
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222	
10	Method of examination	Oral Die Prüfung ist eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 Minuten. / The form of examination is an oral exam of 30 minutes.	

11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 947709	Auditory Models Auditory models	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Auditory Models (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler
5	Contents	• Main components of the human auditory system • Common models • Mechanical models • Physiological models • Psychoacoustic models • Applications (hearing aids, audio coding, . . .)
6	Learning objectives and skills	Goals • Students understand the structure and function of the human auditory system • Students gain deeper insight into psychoacoustic phenomena, such as masking, directional and spatial hearing • Students implement and evaluate perceptual models for various applications • Students collaborate with scientists in the fields of audiology and neuroscience
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The form of examination is an oral exam of 30 minutes.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 302148	Musiksignalverarbeitung - Analyse Music processing - Analysis	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Meinard Müller
5	Contents	Music signals possess specific acoustic and structural characteristics that are not shared by spoken language or audio signals from other domains. In fact, many music analysis tasks only become feasible by exploiting suitable music-specific assumptions. In this course, we study feature design principles that have been applied to music signals to account for the music-specific aspects. In particular, we discuss various musically expressive feature representations that refer to musical dimensions such as harmony, rhythm, timbre, or melody. Furthermore, we highlight the practical and musical relevance of these feature representations in the context of current music analysis and retrieval tasks. Here, our general goal is to show how the development of music-specific signal processing techniques is of fundamental importance for tackling otherwise infeasible music analysis problems.
6	Learning objectives and skills	Expertise Understand • The students present central tasks in music processing in their own words and outline possible solutions. • The students understand the properties of different forms of representation of music. Apply • The students apply basic algorithms for the analysis and comparison of music signals. • Students can predict how different musical properties will affect the signal analysis. Analyze • The students observe and discuss the meaning and impact of parameters in music analysis. • The students compare different methods of analyzing periodicities. Evaluate • The students question assumptions that are often implicitly made when using analytical methods. • Students estimate when methods might work when analyzing specific music signals and when they typically fail. Learning and methodological skills • The students prepare for the lecture using selected literature and Jupyter notebooks. • The students question existing approaches regarding their applicability in practice.

- The students pay attention to efficiency issues in the algorithms discussed.

Self-competence

- The students question their understanding of what they have learned using exercises.
- The students formulate questions and ask them to the lecturer and the audience in the lecture.

Social skills

- The students independently organize learning groups in which the subject is discussed and deepened.
- The students simulate oral exams with their fellow students.

Fachkompetenz

Verstehen

- Die Studierenden stellen zentrale Aufgabenstellungen der Musikverarbeitung in eigenen Worten dar und skizzieren Lösungsansätze.
- Die Studierenden verstehen die Eigenschaften von unterschiedlichen Darstellungsformen von Musik.

Anwenden

- Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen zur Analyse und zum Vergleich von Musiksignalen an.
- Die Studierenden können voraussagen, wie sich unterschiedliche musikalische Eigenschaften bei der Signalanalyse auswirken.

Analysieren

- Die Studierenden beobachten und diskutieren die Bedeutung und Auswirkung von Parametern bei der Musikanalyse.
- Die Studierenden stellen unterschiedliche Verfahren bei der Analyse von Periodizitäten gegenüber.

Evaluierten (Beurteilen)

- Die Studierenden hinterfragen Annahmen, die implizit bei der Verwendung von Analysemethoden gemacht werden.
- Die Studierenden schätzen ein, wann Methoden bei der Analyse von gewissen Musiksignalen funktionieren könnten und wann sie typischerweise versagen.

Lern- bzw. Methodenkompetenz

- Die Studierenden bereiten sich auf die Vorlesung anhand ausgewählter Literatur vor.
- Die Studierenden hinterfragen bestehende Ansätze hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis.
- Die Studierenden beachten Fragen der Effizienz bei den diskutierten Algorithmen.

Selbstkompetenz

- Die Studierenden hinterfragen ihr Verständnis von dem Gelernten anhand von Übungsaufgaben.
- Die Studierenden formulieren Fragen und stellen diese in der Vorlesung an den Dozenten und die Zuhörerschaft.

Sozialkompetenz

		• Die Studierenden organisieren selbständig Lerngruppen, in denen der Stoff diskutiert und vertieft wird. • Die Studierenden simulieren mit ihren Kommilitonen mündliche Prüfungen.
7	Prerequisites	In this course, we discuss a number of current research problems in music processing or music information retrieval (MIR) covering aspects from information science and digital signal processing. We provide the necessary background information and give numerous motivating examples so that no specialized knowledge is required. However, the students should have a solid mathematical background. The lecture is accompanied by readings from textbooks or the research literature. Furthermore, the students are required to experiment with the presented algorithms using Python.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Die Prüfung ist eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 Minuten. / The form of examination is an oral exam of 30 minutes.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 44400	Radar Signal Processing Radar signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Gerhard Krieger
5	Contents	Radar is a key technology for a growing number of sensing tasks that range from the detection, location and tracking of moving objects to high-resolution imaging of surfaces, sub-surfaces and 3-D volumes. While the traditional radar applications focused on aerospace security, weather services and traffic surveillance, radar is now becoming a central contactless sensor technology for the automotive sector, medical diagnostics, gesture control, civil engineering, as well as large scale environmental and climate change monitoring, to name only a few. Associated with the new applications is an increasing demand for advanced signal processing techniques to extract the relevant information from the microwave echoes acquired by single- and multi-aperture radar systems in complex environments. This lecture will give an overview of a variety of one-, two-, and three-dimensional radar signal and image processing algorithms and their application for different sensing tasks. The theoretical derivations are complemented by computer examples and simulations that form an integral part of both the lecture and the exercises. The lecture covers the following topics: • Introduction (radar principles & applications, signal & noise models, interference, Doppler shift) • Basics of Signal Processing with Python (Jupyter Notebooks) • Data Acquisition (I/Q demodulation, complex signal representation, sampling, quantization) • Range Processing (radar waveforms, pulse compression, ambiguity function, sidelobe reduction) • Doppler Processing (MTI, clutter suppression, range-Doppler ambiguities, spectral estimation) • Detection Theory (target models, Neyman-Pearson criterion, CFAR detector, CRBs) • Multi-Channel Processing (spatial filtering, interference suppression, adaptive beamforming) • Synthetic Aperture Radar (basics of coherent imaging, SAR data model, time-domain processing) • SAR Focusing Algorithms (range-Doppler, chirp scaling, motion compensation, autofocus) • SAR Image Analysis (image statistics, speckle filtering, segmentation, classification) • Radar Polarimetry (wave representations, scattering models, polarimetric decomposition) • Interferometry (interferometric processing chain, statistical performance models, applications)

		• Tomography (principles of 3-D imaging, tomographic processing, remote sensing applications) • Space-Time Adaptive Processing (GMTI, optimum processor, pre- & post-Doppler STAP) • Advanced Topics (bi- & multistatic radar, MIMO radar, compressive sensing)
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Verstehen • understand the basic principles and applications of radar systems • understand the statistical properties of SAR images and their combinations • understand current developments associated with bi- and multistatic SAR, MIMO radar, etc. Anwenden • implement signal processing algorithms for radar detection and parameter estimation • use performance metrics for the evaluation of radar systems and signal processing algorithms • focus coherent radar raw data into high-resolution SAR images • apply space-time adaptive processing techniques for ground moving target indication Analysieren • select and apply spectral processing techniques for clutter and interference suppression • simulate the performance of radar systems in complex environments Erschaffen • combine multiple complex-valued SAR images into higher-level information products
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, aber grundlegende Kenntnisse erforderlich in • Signal- und Systemtheorie, • Wahrscheinlichkeitstheorie • Lineare Algebra. Von Vorteil wären zudem Vorkenntnisse auf einem Teil der folgenden Gebiete: • statistische Signalverarbeitung • Hochfrequenztechnik • Radarsysteme • Nachrichtentechnische Systeme.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral

		Prüfungsform: mündlich (30 Minuten)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• The handouts distributed at the beginning of each lecture cover the entire material and are fully sufficient for exam preparation. • ◦ M. Richards, Fundamentals of Radar Signal Processing, McGraw-Hill, 2nd ed., 2014 ◦ I. Cumming, F. Wong, Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data, Artech House, 2004 ◦ J. Curlander, R. Donough, Synthetic Aperture Radar Systems & Signal Processing, Wiley, 1991 ◦ F. Ulaby, D. Long, Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing, Michigan Press, 2014 ◦ C. Oliver, S. Quegan, Understanding Synthetic Aperture Images, Scitech, 2004 ◦ H. Van Trees, Optimum Array Processing, Wiley Interscience, 2002 ◦ J. Guerci, Space-Time Adaptive Processing for Radar, Artech House, 2nd ed., 2015 ◦ R. Hanssen, Radar Interferometry, Kluwer Academic Publishers, 2001 ◦ J. Li, P. Stoica, MIMO Radar Signal Processing, Wiley, 2008

1	Module name 44120	Pattern Analysis Pattern analysis	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Pattern Analysis (4 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Christian Riess	

4	Module coordinator	Christian Riess
5	Contents	This lecture is the sequel to the lecture "Pattern Recognition". As such, it covers topics from the chapters 8-14 from the book "Pattern Recognition and Machine Learning" by Christopher Bishop. These topics include various aspects of Bayesian modeling, including (but not limited to) probabilistic graphical models, mixture modeling, variational inference, sampling methods, manifold learning, Markov random fields, hidden Markov models, tree-based methods and ensembling.
6	Learning objectives and skills	The students • explain the discussed methods for classification, prediction, and analysis of patterns, • compare and analyze methods for manifold learning and select a suited method for a given set of features and a given problem, • compare and analyze methods for probability density estimation and select a suited method for a given set of features and a given problem, • apply non-parametric probability density estimation to pattern analysis problems, • apply dimensionality reduction techniques to high-dimensional feature spaces, • explain statistic modeling of feature sets and sequences of features, • explain statistic modeling of statistical dependencies
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (60 minutes) Die Prüfung ist eine schriftliche Klausur mit Multiple Choice mit einer Dauer von 60 Minuten. / The form of examination is a written exam with multiple choice with a duration of 60 minutes.
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Begleitende Literatur / Accompanying literature: • C. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer Verlag, Heidelberg, 2006 • T. Hastie, R. Tibshirani und J. Friedman: The Elements of Statistical Learning, 2nd Edition, Springer Verlag, 2009 • A. Criminisi and J. Shotton: Decision Forests for Computer Vision and Medical Image Analysis, Springer, 2013

1	Module name 330467	Multimedia Security Multimedia security	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Christian Riess
5	Contents	This lecture covers a variety of security-related topics around multimedia data. In particular, the lecture presents algorithms and key results from the past 15 years in multimedia security, including topics on image forensics, steganography, watermarking, and biometrics. Selected algorithms are implemented and tested by the participants. It is helpful to bring some knowledge in signal processing or pattern recognition. It is also helpful to be not afraid from equations. Tentative list of topics and algorithms: • Image forensics for manipulation detection in digital media. Statistical and physics-based features for manipulation detection. Detecting traces of manipulations versus validating image authenticity. • Blind source attribution: was an image or video captured with a particular camera? • Steganography for covert communication. Fundamental algorithms, when can their application be detected? • Watermarking for copyright protection in images/video. Fundamental algorithms, and their security. • Biometric features for person re-identification, and practical concerns on their implementation.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Verstehen Die Studierenden fassen die wesentlichen Fragestellungen auf dem Gebiet der Multimediasicherheit zusammen (The participants summarize the relevant questions within the field of multimedia security). Die Studierenden nennen und erklären die wesentlichen Fachbegriffe aus den Teilgebieten der Multimediasicherheit (The participants name and explain relevant terms from the subfields of multimedia security). Evaluieren (Beurteilen) Die Studierenden bewerten die Eignung der vorgestellten bildforensischen Algorithmen für ein gegebenes Untersuchungsszenario (The participants evaluate the suitability of the presented image forensics algorithms for a given examination scenario). Erschaffen Die Studierenden implementieren kurze Beispielsprogramme für ausgewählte Algorithmen der Multimediasicherheit (The participants implement short example programs for selected algorithms of multimedia security). Lern- bzw. Methodenkompetenz

		Die Studierenden implementieren ausgewählte Methoden in der Programmiersprache C++ (The participants implement selected methods in the C++ programming language). Sozialkompetenz Die Studierenden implementieren und diskutieren Beispielsmethoden in Gruppenarbeit (The participants implement and discuss the example method in groups). Die Studierenden diskutieren die gesellschaftlichen Auswirkung von Multimediasicherheit am Beispiel aktueller Probleme (The participants discuss multimedia security's impact on society using current issues).
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	begleitend zu der Veranstaltung: - Husrev Sencar, Nasir Memon (Editors): "Digital Image Forensics. There is More to a Picture than Meets the Eye", Springer 2013. - Hany Farid: "Photo Forensics", MIT Press, 2016.

1	Module name 502509	Hardware-Software-Co-Design Hardware-software-co-design	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: UE-HSCD (2 SWS) Vorlesung: Hardware-Software-Co-Design (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Muhammad Sabih Tobias Hahn Abrarul Karim Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Zahlreiche Realisierungen eingebetteter Systeme (z.B. Mobiltelefone, Faxgeräte, Industriesteuerungen) zeichnen sich durch kooperierende Hardware- und Softwarekomponenten aus. Die Popularität solcher Realisierungsformen lässt sich begründen durch 1) die steigende Vielfalt und Komplexität heterogener Systeme, 2) die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken und 3) Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Entwurfsmethoden). Zum Beispiel bieten Halbleiterhersteller kostengünstige ASICs an, die einen Mikrocontroller und benutzerspezifische Peripherie und Datenpfade auf einem Chip integrieren. Die Synthese solcher Systeme wirft jedoch eine Reihe neuartiger Entwurfsprobleme auf, insbesondere 1) die Frage der Auswahl von Hardware- und Softwarekomponenten, 2) die Partitionierung einer Spezifikation in Hard- und Software, 3) die automatische Synthese von Interface- und Kommunikationsstrukturen und 4) die Verifikation und Cosimulation. 1) Überblick und Vergleich von Architekturen und Komponenten in Hardware/Software-Systemen. 2) Aufbau eines Compilers und Codeoptimierungsverfahren für Hardware und Software 3) Hardware/Software-Partitionierung (Partitionierung komplexer Systeme, Schätzungsverfahren, Performanzanalyse, Codegenerierung) 4) Interfacesynthese (Kommunikationsarten, Synchronisation, Synthese) 5) Verifikation und Cosimulation 6) Tafelübungen Content: Numerous realisations of embedded systems (e.g. mobile phones, fax machines, industrial controls) are characterised by cooperating hardware and software components. The popularity of such realisations can be explained by 1) the increasing diversity and complexity of heterogeneous systems, 2) the need to reduce design and testing costs, and 3) advances in key technologies (microelectronics, formal design methods). For example, semiconductor manufacturers offer low-cost ASICs that integrate a microcontroller and user-specific peripherals and data paths on a single chip. However, the synthesis of such systems raises a number of novel design problems, in particular 1) the issue of hardware and software

		component selection, 2) the partitioning of a specification into hardware and software, 3) the automatic synthesis of interface and communication structures, and 4) verification and cosimulation. 1) Overview and comparison of architectures and components in hardware/software systems. 2) Structure of a compiler and code optimisation procedures for hardware and software. 3) Hardware/software partitioning (partitioning of complex systems, estimation procedures, performance analysis, code generation) 4) Interface synthesis (communication types, synchronisation, synthesis) 5) Verification and cosimulation 6) Blackboard exercises
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen • Die Studierenden erhalten Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet. Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden verstehen Grundlagen des modernen Systementwurfs. • Die Studierenden erklären Implementierungsalternativen für digitale Hardware/Software-Systeme. Fachkompetenz - Anwenden • Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an, zur Analyse und Optimierung von Hardware/Software-Systemen. Competences: Professional competence - Knowledge • Students gain insight into a current field of research. Professional competence - Understanding • Students understand the basics of modern system design. • Students explain implementation alternatives for digital hardware/software systems. Professional competence - Application • Students apply basic algorithms to analyse and optimise hardware/software systems.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl des Moduls „Hardware-Software-Co-Design (Vorlesung mit erweiterter Übung)“ aus.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h

14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: • Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6 • Gajski, D. et al.: "Specification and Design of Embedded Systems", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1994, ISBN: 978-0131507319 Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/hardware-software-co-design

1	Module name 43405	Introduction to Deep Learning Introduction to deep learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	The students will learn the basics in <i>deep learning</i>, including classical neural network models and recent architectures. The students will acquire knowledge on processing different types of data with deep neural networks. In the exercises, the students will implement some of the standard models for classification or regression tasks and acquire knowledge on machine learning applications. The lecture topics include: • Learning from data, machine learning and deep learning • Machine learning principles • Artificial neural networks • Convolutional neural networks • Back-propagation • Network optimization • Initialisation, regularisation • Deep network architectures • Generative models • Auto-encoders • Sequential models • Deep learning applications
6	Learning objectives and skills	The students will learn: • Machine learning theory • Artificial neural networks • Deep neural networks • Modern architectures • Model and parameter learning
7	Prerequisites	Basic knowledge of higher mathematics and programming
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h	
14	Module duration	1 semester	
15	Teaching and examination language	english	
16	Bibliography		• Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning. • Rojas, R. (2013). Neural networks: a systematic introduction. • Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2001). The elements of statistical learning.

1	Module name 275245	Heterogene Rechnerarchitekturen Online Heterogeneous computing architectures online	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Heterogene Rechnerarchitekturen Online (0 SWS)	-
3	Lecturers	Johannes Kliemt Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Whereas heterogeneous architectures and parallel computing has filled an academic niche in the past it has become now a commodity technique with the rising of multi-core processors and programmable graphic cards. Even FPGAs play a role hereby in a certain extent due to their increasing importance as accelerator hardware what is clearly observable in the scientific community. However, on one side parallel hardware like multi-core and GPUs are now available nearly for everybody and not only for a selected selection of people, who have access to a parallel supercomputer. On the other side the knowledge about programming of this commodity hardware, and we mean here in particular hardware-orientated programming in order to squeeze out all offered GFlops and TFlops of such hardware, is still missing as well as the knowledge about the architecture details. To overcome this lack we offer this course HETRON. The e-learning course HETRON for the exploitation of parallel and heterogeneous computer architectures) focuses on two main topics which are closely related to each other. This concerns on one side the benefits of using different kinds of multi-core processors and parallel architectures built-up on base of these multicore processors. These architectures differ among each other in the number and in the complexity of its single processing nodes. We distinguish between systems consisting of a large number of simpler, so called fine-grained, processor cores vs. systems consisting of a smaller number of more complex, so called coarse-grained, processor cores. On the other side we lay our focus on that we want to do with these different heterogeneous parallel architectures, namely the execution of parallel programs. Of course this requires the use of parallel programming languages and environments, like CUDA or OpenMP. However, besides these questions of using the right syntax and the right compiler switches to optimize a parallel program it is a pre-requisite to understand how

		parallel computing really works. This refers (i) to the comprehension which basic mechanisms of parallel computing exist, (ii) where are the limits of getting more performance with parallel computing and (iii) in what context stand these mechanisms to heterogeneous architectures. In other words it handles the question which architecture is the best one for a certain parallelization technique. To teach these three topics, is one main goal we pursue with the course HETRON, and of course, this more fundamental basics of heterogeneous and parallel computing have to be proven by means of concrete application examples to deepen the acquired knowledge about heterogeneous architectures and parallel computing principles.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden verstehen die Notwendigkeit sowie grundlegende Anwendungsfälle für heterogene Rechnerarchitekturen. ...können den grundlegenden Aufbau und das Zusammenspiel der Komponenten heterogener Rechnerarchitekturen erklären. ...erläutern grundsätzliche Parallelisierungsprinzipien wie Amdahls Law, High-Performance- und High-Throughput-Computing sowie Parallelisierungsstrategien. ...können einfache Programme mit Hilfe der vermittelten Parallelisierungsprinzipien (Amdahls Law, High-Performance- und High-Throughput-Computing) analysieren und entsprechende Parallelisierungsstrategien entwickeln. ...erklären den Aufbau sowie Stärken und Schwächen von verschiedenen Architekturen wie CPUs, GPUs, Many-Core Prozessoren und FPGAs. ...implementieren ausgewählte Anwendungsbeispiele (SHA256 Algorithmus, Ising-Modell und Fast-Fourier-Transformation) auf oben genannte Architekturen. ...erforschen und bewerten verschiedener Parallelisierungstechniken in Abhängigkeit der Anwendung und der Architektur. ...erläutern die Grundlagen des Grid- und Cloud-Computings ...sind in der Lage parallele Berechnungen (SHA256) im Grid umzusetzen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (60 minutes)
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Every semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 0 h Independent study: 150 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	

1	Module name 43955	Communication Systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Aus Rechnerkommunikation ist der grundlegende Aufbau von IP-basierten Netzen bekannt, Inhalt von Kommunikationssysteme sind weitere Netztechnologien wie Leitungsvermittlung (Telefonnetze, Sonet/ SDH/WDM) und Netze mit virtueller Leitungsvermittlung (ATM, MPLS) sowie Netzwerkvirtualisierung (SDN, NFV), Multimediakommunikation über paketvermittelte Netze (Streaming, RTP, SIP, Multicast), Dienstgüte in paketvermittelten Netzen (Integrated Services, RSVP, Differentiated Services, Active Queue Management, Policing, Scheduling), drahtlose und mobile Kommunikation (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, ZigBee u.a. Sensornetze). Auch Kommunikation in der Industrie wird behandelt. In der Übung werden praktische Aufgaben im Labor durchgeführt: ein Labor enthält mehrere IP-Router, Switches und Rechner, IP-Telefone und Telefonie-Software für VoIP, es werden verschiedene Konfigurationen eingestellt und getestet. Ein weiterer Übungsteil beschäftigt sich mit Mobilkommunikation. *Contents:* Based on the course computer communications the architecture of IP networks is known. Contents of this course will be additional networking technologies such as circuit switching (telephony, SONET/ SDH/WDM) and networks with virtual circuit switching (ATM, MPLS) as well as network virtualization (SDN, NFV), multimedia communications over packet switched networks (streaming, RTP, SIP, multicast), quality-of-service in packet switched networks (integrated services, RSVP, differentiated services, active queue management, policing, scheduling), wireless and mobile communications (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, sensor networks such as ZigBee). Industrial communication will also be a topic. In the tutorial practical tasks are performed in the laboratory: One laboratory contains several IP routers, switches and computers, IP phones and VoIP telephone software. Various configurations are set up and tested. Another part of the tutorial deals with mobile communications.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Kenntnisse über Technologien bei der Leitungs- und Paketvermittlung in leitungsgebundenen und drahtlosen/mobilen Netzen Kenntnisse über die Grundlagen von Dienstgütemechanismen in paketvermittelten Netzen praktische Erfahrung in der Konfiguration eines IP-Switch-Router-Netzes mit Multimediaverkehr Students obtain the following learning targets and competences

		Knowledge of technologies in circuit and packet switching in wired and wireless/mobile networks Knowledge of the foundations of quality of service mechanisms in packet switched networks Practical experience in configuring an IP switch router network with multimedia traffic
7	Prerequisites	Basic knowledge of working with the Linux command line interface (terminal).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Course achievement Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%) Course achievement (pass/fail) Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7th Ed., Pearson Education, 2017 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pear-son Education, 2016 Cox. An Introduction to LTE. Wiley, 2012

1	Module name 299892	Informationsvisualisierung Information visualization	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Informationsvisualisierung (2 SWS) Übung: Übung zur Informationsvisualisierung (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr. Roberto Grosso	

4	Module coordinator	Dr. Roberto Grosso
5	Contents	Aufgrund der rasanten Entwicklung der Informationstechnologie sind wir mit einer noch nie dagewesenen Flut an Daten konfrontiert. Informationsvisualisierung befasst sich mit der graphischen Darstellung abstrakter Daten, die keine räumliche Struktur aufweisen. Die Visualisierung abstrakter Daten nutzt visuelle Metaphern und Interaktion, um Information aus den Daten zu extrahieren. Typische Anwendungsszenarien sind die Analyse von Finanztransaktionen oder sozialen Netzwerken, Geographie, Textanalyse oder Visualisierung von Software-Quellcode. In dieser Vorlesung werden unterschiedliche Techniken vorgestellt, um verschieden Arten von Daten zu visualisieren. Insbesondere werden folgende Themen behandelt: • Graphen und Netzwerke • Dynamische Graphen • Hierarchien und Bäume • Multivariate Daten • Time-Series Daten • Textvisualisierung
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden Wissen • zählen Datentypen der Informationsvisualisierung auf • nennen Techniken zur Visualisierung unterschiedlicher Datentypen der Informationsvisualisierung • beschreiben Anwendungsfällen für die unterschiedlichen Datentypen der Informationsvisualisierung Verstehen • stellen Algorithmen der Informationsvisualisierung dar und erläutern ihre Eigenschaften, Vorteile und Nachteile • illustrieren Techniken zu Auswertung und Analyse von Daten der Informationsvisualisierung • implementieren die vorgestellten Algorithmen in JavaScript Anwenden • wenden Algorithmen zur Visualisierung unterschiedlichen Daten an • erklären und charakterisieren Techniken der Informationsvisualisierung • Analysieren • klassifizieren Algorithmen zur Visualisierung multivariater Daten, Netzwerke, Hierarchien und Text und erklären ihrer Funktionsweise

		• erkunden die Effizienz der vorgestellten Algorithmen für unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten Evaluieren • bewerten Anwendbarkeit und Performance spezieller Algorithmen der Informationsvisualisierung • vergleichen Methoden zur Analyse und Auswertung von Daten der Informationsvisualisierung • überprüfen die Anwendbarkeit der diskutierten Techniken für unterschiedliche, speziell ausgewählten Fälle
7	Prerequisites	Die Programmieraufgaben werden in JavaScript implementiert.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination with multiple choice (90 minutes)
11	Grading procedure	Electronic examination with multiple choice (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Information Visualization • Robert Spence: Information Visualization: Design for Interaction • Stuart K. Card, Jock Mackinlay, Ben Shneiderman: Readings in Information Visualization – Using Vision to Think • Benjamin B. Bederson, Ben Shneiderman: The Craft of Information Visualization – Readings and Reflections • Tamara Munzner: Visualization Analysis and Design • Colin Ware: Information Visualization, Perception for Design (third edition) • Ricardo Mazza: Introduction to Information Visualization • Robert Spence: Information Visualization - An Introduction Networks / Graphs • ◦ Graph Theory, Reinhard Diestel ◦ Graphentheorie, Peter Tittmann ◦ Graphs, Networks and Algorithms, Dieter Jungnickel • ◦ Networks, 2nd Edition, Mark Newman

		◦ Graph Theory and Complex Networks: An Introduction, Maarten van Steen

1	Module name 172338	Security in Embedded Hardware Security in embedded hardware	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Security in Embedded Hardware (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Stefan Wildermann	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Der Schutz eingebetteter Systeme gegenüber Angriffe Dritter auf gespeicherte Daten und Implementierungen, stellt eine immer wichtigere, jedoch auch durch zunehmende Vernetzung herausfordernde Aufgabe dar. Der Schutz der eingebetteten Systeme gegenüber bekannten als auch neueren ausgeklügelten Angriffsmöglichkeiten ist Gegenstand dieser Vorlesung. Es wird gezeigt, welche Angriffe existieren, welche Gegenmaßnahmen man ergreifen kann und wie man sichere eingebettete Systeme entwirft. Einleitung und Motivation • Was ist Security? • Die Bedeutung von Security für zuverlässige Systeme • Klassifikation von Angriffen • Entwurf eingebetteter Systeme Angriffsszenarien • Beispiele von Angriffsszenarien • Kryptographischer Algorithmen als Ziel von Angriffen Angriffe durch Einschleusen von Code (Code Injection Attacks) • Welche Arten von Code Injection-Angriffe gibt es? • Gegenmaßnahmen Invasive physikalische Angriffe (Invasive Physical Attacks) • Microprobing • Reverse Engineering • Differential Fault Analysis • Gegenmaßnahmen Nichtinvasive softwarebasierte Angriffe (Non-Invasive Logical Attacks) • Erlangen von nicht autorisiertem Zugriff • Gegenmaßnahmen Nichtinvasive physikalische Angriffe (Non-Invasive Physical Attacks) • Abhören • Seitenkanalangriffe • Gegenmaßnahmen
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen • Die Studierenden legen die entsprechenden Gegenmaßnahmen dar • Die Studierenden nennen verschiedene Sicherheitseinrichtungen und -maßnahmen in eingebetteten Systemen Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden zeigen den Einfluss von Angriffen und deren Gegenmaßnahmen auf die Verlässlichkeit eines eingebetteten Systems auf

		- Die Studierenden zeigen den zusätzlichen Aufwand (Fläche, Rechenzeit) von Sicherheitseinrichtungen auf Fachkompetenz - Analysieren - Die Studierenden klassifizieren verschiedene Angriffstypen auf eingebettete Systeme Sozialkompetenz - Die Studierenden erarbeiten kooperativ in Gruppen Lösungskonzepte und implementieren diese gemeinsam
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: - Catherine H. Gebotys Security in Embedded Devices. Springer 2010. - Benoit Badrignans et al. Security Trends for FPGAs. Springer 2011. - Daniel Ziener Techniques for Increasing Security and Reliability of IP Cores Embedded in FPGA and ASIC Designs. Dr. Hut 2010. Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehveranstaltungen/vorlesungen/security-in-embedded-hardware

1	Module name 716033	Fahrzeugkommunikation (Vorlesung mit Übung) Lecture and tutorial: Automotive communication	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Kai-Steffen Hielscher
5	Contents	Die Bedeutung von Elektronik und Software ist in der Fahrzeugtechnik stark gestiegen, gleichzeitig stellen die komplexen Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie hohe Anforderungen an Berufseinsteiger. Absolventen benötigen daher zunehmend spezialisierte Kenntnisse aus den Themenbereichen Elektronik, Software und Vernetzung von Fahrzeugen. Um diesen Anforderungen Rechnung zu tragen, wurde am Department Informatik ein spezieller Studienschwerpunkt Informatik in der Fahrzeugtechnik" im Studiengang Informatik eingerichtet. Die Vorlesung Fahrzeugkommunikation" [FzK] ist in zwei Blöcke gegliedert: Zunächst führt die Vorlesung in die fahrzeuginterne Vernetzung ein, behandelt Vernetzungsarchitekturen, Bussysteme und Steuergeräte, Fahrerassistenzfunktionen, Multimedia und Systemarchitekturen. Den Abschluss bilden Betrachtungen zu Security und Safety in der fahrzeuginternen Vernetzung. Als zweiten Block gibt die Vorlesung einen Überblick über Themen der externen Kommunikation von und mit Fahrzeugen, behandelt Systemarchitekturen zur Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit Infrastruktur, Medienzugriffsverfahren verbreiteter Lösungen, Protokolle von Verkehrsinformationssystemen. Sie schließt wiederum mit Betrachtungen zu Safety und Security - erweitert um die in diesem Themengebiet besonders relevanten Fragestellungen rund um die Wahrung der Privatsphäre von Nutzern. Die Vorlesung wird für einen Abschluss mit Studienschwerpunkt Informatik in der Fahrzeugtechnik" anerkannt. Sie setzt Grundkenntnisse in Rechnernetzwerk voraus und richtet sich so schwerpunktmäßig an Studierende aus Informatik, IuK und CE ab dem 5. Semester. Auszug Interne Vernetzung: • Interne Steuerung: ECU-ECU, Safety • Bussysteme (CAN, LIN, FlexRay, MOST, ...) • HW-, SW- Architekturen von Steuergeräten • Security & Safety Auszug Externe Vernetzung • Car-2-X-Kommunikation • Topologien, Architekturen • Medienzugriff: Wifi, WAVE/DSRC • Safety Anwendungen • Security & Privacy
6	Learning objectives and skills	Das Modul wird für einen Abschluss mit Studienschwerpunkt Informatik in der Fahrzeugtechnik" anerkannt. Sie setzt Grundkenntnisse in

		Rechnerkommunikation voraus und richtet sich so schwerpunktmäßig an Studierende aus Informatik, IuK und CE ab dem 5. Semester. Fachkompetenz Wissen Die Studierenden lernen die grundlegenden Mechanismen der internen und externen Fahrzeugkommunikation kennen. Sie können aktuelle und zukünftige Anwendungen für Vernetzung im Fahrzeugbereich nennen. Verstehen Die Studierenden verstehen die grundlegenden Prinzipien der internen Bussysteme und können die Vorteile und Nachteile der wesentlichen Technologien in diesem Bereich erklären (CAN, FlexRay, MOST, ...). Ebenso können Sie die Probleme von mobilen Ad-Hoc-Netzen erklären und Lösungsansätze vergleichen (z.B. ETSI ITS-G5 und WAVE). Sie können wesentliche Anwendungen nach ihren Anforderungen bezüglich der Vernetzung klassifizieren. Anwenden In den Übungen werden die Erkenntnisse in praktischen Aufgaben angewendet. Analysieren Die Studierenden werden in die Lage versetzt, zukünftige Anwendungen bezüglich ihres Kommunikationsverhaltens zu analysieren. Evaluieren (Beurteilen) Dabei können Sie die zugrundeliegenden Mechanismen beurteilen und einschätzen, welche Vernetzungstechnologien diese Anforderungen am besten erfüllen. Unterstützt wird dies durch Simulationen der Netze an konkreten Beispielen, die die notwendigen Metriken zur Analyse liefern können. Erschaffen Die Studierenden entwickeln eigene Simulationen von Car2X-Netzen auf Basis realer Karten. Ebenso können die Studierenden Simulationsmodelle für interne Netze erstellen.
7	Prerequisites	Rechnerkommunikation
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 92503	Numerische Methoden der Halbleiterbauelemente Numerical methods for semiconductor components	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übung zu Numerische Methoden der Halbleiterbauelemente (1 SWS) Vorlesung: Numerische Methoden der Halbleiterbauelemente (3 SWS)	1,5 ECTS 3,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Friedhard Römer Prof. Dr. Bernd Witzigmann	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Friedhard Römer
5	Contents	Grundlagen der numerischen Simulation von quasistationären elektromagnetischen Feldern und elektromagnetischer Wellenausbreitung
6	Learning objectives and skills	Lernziele: • Kenntnisse über verschiedene numerische Methoden zur Lösung der Maxwell'schen Gleichungen im Zeit- und Frequenzbereich • Anwendung der Finite-Differenzen-Zeitbereichsmethode und der Finite-Elemente-Methode zur Lösung elektromagnetischer Feldprobleme
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Mündliche Prüfung, Dauer 30 min
11	Grading procedure	Oral (100%) 100% der mündlichen Prüfung
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Taflove, A., Hagness, S.: Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. 3rd Ed., Artech House, Norwood, Mass., USA, 2005. • Jin, J.: The Finite Element Method in Electromagnetics. Wiley-IEEE Press, 2007 • Jin, J.-M.: Theory and computation of electromagnetic fields. IEEE Press, Piscataway, New Jersey, USA, 2015. • Vorlesungsskript

1	Module name 64631	Numerik II für Ingenieure Numerics for engineers II	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Num2U (2 SWS) Übung: Übungen zur Numerik II für Ingenieure (2 SWS) Vorlesung: Numerik II für Ingenieure (2 SWS)	- - -
3	Lecturers	Dr. Michael Fried	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wilhelm Merz
5	Contents	*Numerik partieller Differentialgleichungen* Finite Differenzenmethode, Stabilität, Konsistenz, Konvergenz, Einführung finite Elementmethode bei elliptischen Problemen, Fehlerschätzer
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erklären verschiedene Diskretisierungsmethoden • beurteilen diese Diskretisierungsmethoden • leiten Finite Elemente Diskretisierungen elliptischer Probleme her • folgern Aussagen anhand grundlegender Beweistechniken aus oben genannten Bereichen • konstruieren Algorithmen zu Finite Elemente Diskretisierungen • erklären Fehlerschätzer
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 4
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skripte des Dozenten H. Jung, M. Langer, Methode der Finiten Elemente, Teubner P. Knabner, L. Angermann, Numerik partieller Differentialgleichungen, Springer

1	Module name 454183	Molecular Communications Molecular communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Schober
5	Contents	Conventional communication systems employ electromagnetic waves for information transmission. This approach is suitable for typical macroscopic applications such as mobile communication. However, newly emerging applications in biology, nanotechnology, and medicine require communication between so-called nano-machines (e.g. nano-robots and nano-sensors) with sizes on the order of nano- and micro-meter. For such device sizes electromagnetic waves cannot be used for efficient information transmission. Instead Molecular Communication, an approach that is also widely used in natural biological systems, has to be applied. In Molecular Communication, transmitter and receiver communicate by exchanging information-carrying molecules. The design of molecular communication systems requires a basic understanding of relevant biological processes and systems as well as their communication-theoretical modelling and analysis. The course is structured as follows: 1) Introduction to Molecular Communication; 2) Biological Nano-Machines; 3) Molecular Communication in Biological Systems; 4) Synthetic Molecular Communication Systems; 5) Mathematical Modelling and Simulation; 6) Communication and Information Theory for Molecular Communication; 7) Design of Molecular Communication Systems; 8) Applications for Molecular Communication Systems.
6	Learning objectives and skills	The students are able to design synthetic molecular communication systems. They can explain natural communication processes in biological systems and how to harness these natural processes for the construction of man-made molecular communication systems. The students can also analyse, model, and simulate molecular communication systems.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The examination is a 30-minute oral exam. The examination language is English.

11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 42800	Advanced Topics in Deep Learning Advanced topics in deep learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Advanced Topics in Deep Learning (4 SWS) Übung: Supplements for Advanced Topics in Deep Learning	5 ECTS -
3	Lecturers	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis Marc Hölle	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	The students will learn advanced deep learning topics, including recent network architectures, generative models, self-supervision, interpretability and explainability. In the exercises, the students will implement advanced models and techniques for classification or regression tasks. The lecture topics include: • Geometric deep learning • Attention and transformers • Unsupervised and self-supervised learning • Generative models • Interpretability • Explainability • Efficient Inference • Uncertainty estimation • Transfer learning and domain adaptation • Few-shot learning <i>Die Studierenden lernen erweiterte Themen des Deep Learning kennen, darunter aktuelle Netzwerkarchitekturen, generative Modelle, Selbst-Überwachung, Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit. In den Übungen werden die Studierenden fortgeschrittene Modelle und Techniken für Klassifizierungs- oder Regressionsaufgaben implementieren.</i> <i>Zu den Vorlesungsthemen gehören:</i> • Geometric deep learning • Attention and transformers • Unsupervised and self-supervised learning • Generative models • Interpretability • Explainability • Efficient Inference • Uncertainty estimation • Transfer learning and domain adaptation • Few-shot learning

6	Learning objectives and skills	The students will learn: • State-of-the-art topics in Deep Learning • Recent Neural network architectures • Generative modelling • Lifelong learning approaches • Robustness and reliability in Deep Learning. <i>Die Studierenden lernen:</i> • Neueste Themen im Bereich Deep Learning • Neueste Architekturen neuronaler Netze • Generative Modellierung • Lifelong learning • Robustheit und Zuverlässigkeit beim Deep Learning.
7	Prerequisites	Basic knowledge of machine learning, deep learning, and programming. <i>Grundkenntnisse in Machine Learning, Deep Learning und Programmierung</i>
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Written exam of 90 min duration <i>Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer</i>
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning. • Deisenroth, M. P., Faisal, A. A., & Ong, C. S. (2020). Mathematics for machine learning. Cambridge University Press. • Molnar, C. (2020). Interpretable machine learning. Lulu. com.

1	Module name 44411	Embedded Systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Schwerpunkt des Moduls ist der Entwurf und die Implementierung eingebetteter Systeme unter Einsatz formaler Methoden und rechnergestützter Entwurfsverfahren. Unter eingebetteten Systemen versteht man Rechensysteme, die auf einen Anwendungsbereich zugeschnitten (z.B. mobile Kommunikationsgeräte, Chipkartensysteme, Industriesteuerungen, Unterhaltungselektronik, Medizintechnik) und in einen technischen Kontext eingebunden sind. Das große Interesse am systematischen Entwurf von heterogenen eingebetteten Systemen ist verursacht durch die steigende Vielfalt und Komplexität von Anwendungen für eingebettete Systeme, die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken sowie durch Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Methoden). <i>The focus of this module is the design and implementation of embedded systems using formal methods and computer-aided design techniques. Embedded systems are computing systems tailored for a particular application (e.g., mobile communication devices, smart card systems, industrial control, consumer electronics, medical technology) and integrated into a technical context. The keen interest in the systematic design of heterogeneous embedded systems is driven by the increasing diversity and complexity of embedded system applications, the need to reduce design and test costs, and advances in key technologies (microelectronics, formal methods).</i>
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen - Die Studierenden setzen sich mit einem aktuellen Forschungsgebiet auseinander. The students deal with a current field of research. Fachkompetenz - Verstehen - Die Studierenden verstehen grundlegende Konzepte des Entwurfs eingebetteter Systeme. The students become familiar with the fundamental concepts of designing of embedded systems. Fachkompetenz - Anwenden - Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an zur Analyse und Optimierung von Hardware-Architekturen und Echtzeit-Softwaresystemen. The students apply basic algorithms to analyze and optimize hardware architectures and real-time software systems.

		Die Studierenden erfassen den Hardware/Software-Entwurf von Systemen mit harten Beschränkungen. The students understand the hardware/software design of hard-constrained systems.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl der Module „Eingebettete Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen)“ und „Eingebettete Systeme (Vorlesung mit Übungen)“ aus. <i>Selecting this module excludes the selection of the modules “Embedded Systems (Lecture with Extended Exercises)” and “Embedded Systems (Lecture with Exercises)”.</i> Organisatorisches: - Die Vorlesung erfolgt in deutscher Sprache. Zusätzlich stehen Folien und Vorlesungsaufzeichnungen in englischer Sprache zur Verfügung. - Die Übungen werden sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch angeboten. - Studierende können die Prüfung wahlweise auf Deutsch oder Englisch ablegen. Organizational: - The lecture is given in German. Slides and lecture recordings are also provided in English. - German as well as English exercises are offered. - Students can choose between taking the exam either in German or English.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Empfohlenes Buch zur Begleitung und Vertiefung: Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6

		Weitere Informationen:

		https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehveranstaltungen/vorlesungen/eingebettete-systeme/

1	Module name 92731	Communication Electronics	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Kommunikationselektronik (2 SWS)	5 ECTS
		Vorlesung: Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS)	5 ECTS
		Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (2 SWS)	-
		Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS)	-
3	Lecturers	Sebastian Klob Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert Marcelo Michael	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert
5	Contents	1. Einleitung 2. Darstellung von Signalen und Spektren • Kontinuierliche und diskrete Signale • Spektrum eines Signals • Unterabtastung und Überabtastung 3. Aufbau und Signale eines Software Defined Radio Systems • Blockschaltbild eines Software Defined Radio Systems • Basisband- und Trägersignale • Empfänger-Topologien • Signale in einem Software Defined Radio System 4. Drahtlose Netzwerke 5. Übertragungsstrecke • Funkstrecke • Antennen 6. Leistungsdaten eines Empfängers • Rauschen • Nichtlinearität • Dynamikbereich eines Empfängers 7. Digital Downconverter • CIC-Filter • Polyphasen-FIR-Filter • Halbband-Filterkaskade • Interpolation 8. Demodulation digital modulierter Signale • Einführung • Demodulation einer GFSK/PAM-Paketsendung Das Modul Kommunikationselektronik behandelt Aspekte der Schaltungstechnik und der Signalverarbeitung drahtloser Übertragungssysteme, die als sog. "Software Defined Radio" Systeme aufgebaut sind. Als Beispiel dient der Empfänger eines einfachen Telemetrie-Systems, der von der Antenne bis zum Nutzdatenausgang behandelt wird. Schwerpunkte bilden der Aufbau und die Eigenschaften der Hardware des Empfängers sowie die Algorithmen zum Empfang von Telemetrie-Signalen. Dabei wird ein typisches System mit Hilfe eines miniaturisierten Empfängers und einer Verarbeitung mit dem MATLAB-

		kompatiblen Mathematikprogramm Octave implementiert. Die benötigte Software wird den Studierenden zur Verfügung gestellt. *Content:* 1.Introduction 2.Signal representation and discrete signals - a.Continuous and discrete signals - b.Signal spectrum - c.Downsampling and upsampling 3.Structure and signals of a Software Defined Radio - a.Block diagram of a Software Defined Radio - b.Base band signals and carrier signals - c.Receiver topologies - d.Signals in a Software Defined Radio 4.Wireless networks 5.Transmission path - a.Radio link - b.Antennas 6.Performance data of a receiver - a.Noise - b.Nonlinearities - c.Dynamic range of a receiver 7.Digital Down Converter - a.CIC filter - b.Polyphase FIR filter - c.Halfband filter cascade - d.Interpolation 8.Demodulation of digital modulated signals - a.Introduction - b.Demodulation of a GFSK/PAM packet transmission The module Communication Electronics deals with aspects of circuitry and signal processing of wireless communication systems, built up as so-called "Software Defined Radio systems. A receiver of a simple telemetry system serves as an example, being examined starting from its antenna to the user data output. The focus lies on the structure and the characteristic of the receivers hardware as well as the algorithms for the reception of telemetry signals. A typical system is implemented using a miniaturized receiver and processing with the MATLAB-compatible Octave math program. The required software is provided to the students.
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden verstehen die grundlegende Funktionsweise eines Software Defined Radio (SDR) Systems, d.h. sie verstehen die Funktionsweise der einzelnen Signalverarbeitungsschritte sowie die auftretenden Signale selbst. 2. Die Studierenden analysieren die Leistungsfähigkeit der analogen Komponenten eines SDR Systems und können Verfahren zur Optimierung dieser Komponenten selbständig anwenden. 3. Die Studierenden analysieren die digitalen Verarbeitungsschritte ausgewählter Modulationsarten und können damit selbst die digitale Signalverarbeitung eines SDR Senders und Empfängers erschaffen.

		1. The students will understand the basic operation of a Software Defined Radio (SDR) system, i.e. the students will understand how the individual signal processing steps work as well as the signals themselves. 2. The students analyze the performance of the analog components of an SDR system and are able to apply procedures for optimizing these components independently. 3. The students analyse the digital processing steps of selected modulation types and are able to create the digital signal processing of an SDR transmitter and receiver themselves.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, grundlegende Kenntnisse im Bereich digitaler Signalverarbeitung werden vorausgesetzt
8	Integration in curriculum	semester: 2;1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Veranstaltung im StudON verfügbar: https://www.studon.fau.de/studon/goto.php?target=crs_117973

1	Module name 96591	Design of Integrated Circuits I	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler
5	Contents	Es wird in die Grundlagen des integrierten digitalen Schaltungsentwurfes auf Basis von CMOS eingeführt. Ausgehend vom MOS Transistor wird die Complementäre Logik erklärt und auf gängige statische und dynamische Schaltelemente und ihre Erweiterungen auf hochintegrierte Schaltungen bis 0.13µm eingegangen. • Digitaler IC Entwurf für Deep Submicron • MOS Transistor • Herstellung, Layout und Simulation • MOS Inverterschaltung • Statische CMOS Gatter-Schaltungen • Entwurf von Logik mit hoher Schaltrate • Transfer-Gatter und dynamische Logik • Entwurf von Speichern • Zusätzliche Themen des Speicherentwurfs Content It introduces students to the basics of digital integrated circuit design in CMOS. Starting from the MOS transistor, complementary logic is explained. Common static and dynamic switching elements are discussed as well as their extensions to large scale integrated circuits (0.18µm-0.13µm). • Deep Submicron Digital IC Design • MOS Transistor • Fabrication, Layout and Simulation • MOS Inverter Circuits • Static CMOS Gate-Circuits • Design of Logic with High Switching Rate • Transfer-Gates and Dynamic Logic • Design of Memory • Additional Topics of Memory Design
6	Learning objectives and skills	Verstehen • Die Studierenden gewinnen einen Überblick über existierende Integrationstechnologien und Entwurfsmethodiken für Integrierte Schaltungen in 0,18µm und 0,13µm CMOS. Dabei verstehen die Studierenden auch die Zusammenhänge zwischen technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Halbleiterfertigung. Evaluieren (Beurteilen) • Die Studierenden analysiert das Verhalten von MOS/CMOS-Transistoren. Daneben können sie verschiedene statische und

		dynamische digitale Schaltungsstrukturen auf Transistorebene bewerten. Learning objectives and competencies: Understand - gain an overview of existing integration technologies and integrated circuit design techniques in CMOS (0.18μm-0.13μm), understanding technical and economic aspects of semiconductor manufacturing. Evaluate (Assess) - Analyze the behavior of MOS / CMOS transistors and evaluate various static and dynamic digital circuit structures at transistor level.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96311	Image and Video Compression Image and video compression	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Image and Video Compression (IVC) (4 SWS) Übung: Übung zu Image and Video Compression	5 ECTS -
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup Anna Meyer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	Multi-Dimensional Sampling - Sampling theorem revisited, 2D sampling, spatiotemporal sampling, motion in 3D sampling Entropy and Lossless Coding - Entropy and information, variable length codes, Huffman coding, unary coding, Golomb coding, arithmetic coding Statistical Dependency - Joint entropy and statistical dependency, run-length coding, fax compression standards Quantization - Rate distortion theory, scalar quantization, Lloyd-Max quantization, entropy coded scalar quantization, embedded quantization, adaptive quantization, vector quantization Predictive Coding - Lossless predictive coding, optimum 2D linear prediction, JPEG-LS lossless compression standard, differential pulse code modulation (DPCM) Transform Coding - Principle of transform coding, orthonormal transforms, Karhunen-Loève transform, discrete cosine transform, bit allocation, compression artifacts Subband Coding - Principle of subband coding, perfect reconstruction property, discrete wavelet transform, bit allocation for subband coding Visual Perception and Color - Anatomy of the human eye, sensitivity of the human eye, color spaces, color sampling formats Image Coding Standards - JPEG and JPEG2000 Interframe Coding - Interframe prediction, motion compensated prediction, motion estimation, motion compensated hybrid coding Video Coding Standards - H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 / H.262, H.264 / MPEG-4 AVC, H.265 / MPEG-H HEVC
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden veranschaulichen die mehrdimensionale Abtastung und den Einfluss darauf durch Bewegung im Videosignal

		• unterscheiden und bewerten verschiedene Verfahren zur verlustfreien Codierung von Bild- und Videodaten • verstehen und analysieren Verbundentropie und statistische Abhängigkeiten in Bild- und Videodaten • berechnen skalare und vektorielle Quantisierer nach unterschiedlichen Optimierungsvorgaben (minimaler mittlerer quadratischer Fehler, entropiecodiert, eingebetteter Quantisierer) • bestimmen und evaluieren optimale ein- und zwei-dimensionale lineare Prädiktoren • wenden Prädiktion und Quantisierung sinnvoll in einem gemeinsamen DPCM-System an • verstehen das Prinzip und die Effekte von Transformations- und Teilbandcodierung für Bilddaten einschließlich optimaler Bitzuteilungen • beschreiben die Grundzüge der menschlichen visuellen Wahrnehmung für Helligkeit und Farbe • analysieren Blockschaltbilder und Wirkungsweisen hybrider Coder und Decoder für Videosignale • kennen die maßgeblichen internationalen Standards aus ITU und MPEG zur Bild- und Videokompression.
7	Prerequisites	Modul "Signale und Systeme II" und das Modul "Nachrichtentechnische Systeme" stark empfohlen.
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung (Klausur) von 90 min Dauer.
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	J.-R. Ohm: Multimedia Communications Technology, Springer-Verlag, 2004

1	Module name 44362	Quality of Service of Communication Systems Quality of service in communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Quality of Service in Communications (2 SWS) Übung: Quality of Service in Communications (Ex-QoSic) (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Reinhard German Anna Arestova	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Zunächst wird der Begriff der Dienstgüte (Quality-of-Service, QoS) eingegrenzt und es werden die wichtigsten Ansätze zur Erzielung von Dienstgüte besprochen und in ausgewählten Netztechnologien untersucht. Dann werden unterschiedliche Methoden vorgestellt, mit denen Systeme bezüglich ihrer Dienstgüte bewertet und ausgelegt werden können: • Netzplanung und optimierung, • stochastische Analyse (Markow-Ketten, Warteschlangen), • Netzwerksimulation, • deterministische Analyse mit Network Calculus zur Ermittlung von Dienstgütegarantien • Messung (HW-, SW-, Hybrid-Monitoring, Benchmarks). Alle Methoden werden an Beispielen demonstriert. *Contents:* We introduce the term quality-of-service (QoS), discuss important approaches to achieve certain degrees of QoS, and show how the implementation in computer networks. Then a number of methodologies to assess and design systems with respect to their QoS: • network planning and optimization, • network simulation, • stochastic analysis (Markov chains, non-Markovian models, queuing systems), • deterministic analysis with network calculus to determine QoS guarantees • measurements (hardware, software, and hybrid monitoring, benchmarks). All methods are illustrated by examples.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erwerben • Kenntnisse in Methoden zur Modellierung und Bewertung von quantitativen, nicht-funktionalen Eigenschaften von vernetzten Systemen • Kenntnisse in Mechanismen von vernetzten Systemen zur Erzielung von Dienstgüte *Learning targets and competences:* The students get • experience in methods to model and evaluate quantitative, non-functional properties of computer networks and related systems

		knowledge of mechanisms of computer networks to achieve quality-of-service
7	Prerequisites	Rechnerkommunikation, Kommunikationssysteme, grundlegende Programmierkenntnisse (optimal in R und C++)
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	- Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet. 6th Ed., Addison Wesley, 2013 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pearson Education, 2016

1	Module name 876012	Verlässliche Echtzeitsysteme (Vorlesung mit Übungen) Dependable real-time systems (lecture with exercises)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Viele Echtzeitsysteme sind in Bereiche des täglichen Lebens eingebettete, die hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit dieser Systeme stellen. Beispiele hierfür sind Fahrerassistenzsysteme in modernen Automobilen, medizinische Geräte, Prozessanlagen in Kernkraftwerken oder Chemiefabriken oder Flugzeuge. Fehlfunktionen in diesen Anwendungen ziehen mitunter katastrophale Konsequenzen nach sich - Menschen können ernsthaft verletzt oder sogar getötet werden, Landstriche können unbewohnbar gemacht oder zumindest großer finanzieller Schaden verursacht werden. Dieses Modul betrachtet Methoden und Werkzeuge, die uns helfen können, einerseits *zuverlässig Software zu entwickeln* (also Fehler im Programm zu entdecken und zu vermeiden), und andererseits *zuverlässige Software zu entwickeln* (also Abstraktionen, die auch im Fehlerfall ihre Gültigkeit behalten). Hierbei steht weniger die Vermittlung theoretischer Grundkenntnisse auf diesen Gebieten im Vordergrund, also vielmehr • die praktische Anwendung existierende Werkzeuge und Methoden • sowie die Erfahrung und das Verständnis ihrer Grenzen. Auf diese Weise soll ein Fundament für die konstruktive Umsetzung verlässlicher Echtzeitsysteme gelegt werden. Dieses Modul soll daher fundierte Anknüpfungspunkte für die Entwicklung verlässlicher Echtzeitsysteme vermitteln, die Ad-hoc-Techniken möglichst ersetzen sollen.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • nennen die Konzepte und die Taxonomie verlässlicher Systeme, unterscheiden Software- und Hardwarefehler und klassifizieren Fehler (Defekt, Fehler, Fehlverhalten). • stellen Fehlerbäume auf. • organisieren Softwareentwicklungsprojekte mittels der Versionsverwaltung git. • vergleichen die verschiedenen Arten der Redundanz als Grundvoraussetzung für Fehlererkennung und -toleranz. • entwickeln fehlertolerante Systeme mittels Replikation. • diskutieren die Fehlerhypothese und die Sicherstellung von Replikdeterminismus. • erläutern die Vor- und Nachteile softwarebasierter Replikation und den Einsatz von Diversität.

- wenden Informationsredundanz zur Härtung von Daten- und Kontrollflüssen an.
- bewerten die Effektivität der arithmetischer Codierung von Programmen und verallgemeinern diesen Ansatz auf die verschiedenen Implementierungsebenen (Maschinenprogramm zu Prozessinkarnation).
- interpretieren den Einfluss der Ausführungsplattform (Hardware, Betriebssystem) auf die Leistungsfähigkeit der Fehlererkennung.
- konzipieren eine fehlertolerante Ausführungsumgebung für ein softwarebasiertes TMR-System basierend auf ANBD-Codierung.
- nennen die Grundlagen der systematischen Fehlerinjektion.
- überprüfen die Wirksamkeit von Fehlertoleranzmechanismen mittels Fehlerinjektion auf der Befehlssatzebene.
- entwickeln Testfälle für die Fehlerinjektion mittels des fail** Werkzeugs.
- setzen Messergebnisse in Relation zu dem tatsächlichen Fehlerraum.
- beschreiben die Grundlagen der Fehlererholung (Vorwärts- bzw. Rückwärtskorrektur) und Reintegration fehlgeschlagener Knoten.
- vergleichen den Zustandstransfer am Beispiel der Running bzw. Recursive State Restoration.
- benennen Konzepte der Rückwärtskorrektur durch Entwurfsalternativen (Recovery Blocks).
- fassen die Grundlagen des dynamischen Testens zusammen.
- unterscheiden Black-Box und White-Box Testverfahren.
- konzipieren und implementieren Testfälle.
- überprüfen die Testüberdeckung anhand grundlegender Überdeckungskriterien (Anweisungs- bis Bedingungsüberdeckung).
- geben die Grundlagen der statischen Programmanalyse wieder.
- nennen die Funktionsweise von Hoare- WP-Kalkül.
- verifizieren eine Ampelsteuerung mittels des FramaC Werkzeugs zur statischen Analyse von C Programmen.
- beschreiben den Korrektheitsnachweis mittels abstrakter Interpretation und unterscheiden die konkrete von der abstrakten Programmsemantik.
- erläutern die Funktionsweise von Sammel- und Präfixsemantiken.
- erstellen einen Korrektheitsbeweis für einen a-b-Filter mittels des Astrée Werkzeugs zur abstrakten Interpretation von C Programmen.
- bewerten die Verlässlichkeit kommerzieller, sicherheitskritischer Systeme anhand von Fallstudien (Sizewell B, Airbus A320).

		• erschließen sich typische Probleme und Fehlerquellen bei der Programmierung von eingebetteten Systemen im Allgemeinen. • klassifizieren Fallstricke und Mehrdeutigkeiten in der Programmiersprache C99 im Besonderen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein. Weiterhin sind grundlegende Kenntnisse über Echtzeitsysteme eine, zum Beispiel durch den Besuch der Veranstaltung "Echtzeitsysteme", empfohlen. Eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang jedoch nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96314	Virtual Vision Virtual vision	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	PD Dr. Christian Herglotz
5	Contents	Menschliches Sehen Sichtfeld und Fovea Dynamic Range Stereoskopie Eigenschaften der Lichtfeldfunktion • Helligkeit • 3D und Tiefe • Farben • Räumliche und zeitliche Auflösung Energieeffizienz in der Videokommunikation. Content: Human Vision Field of view and fovea Dynamic Range Stereoscopy Properties of the light field function • Brightness • 3D and depth • Colors • Spatial and temporal resolution Energy efficiency in video communications
6	Learning objectives and skills	The students • give an overview on basic properties of the human visual system • know and explain all hardware and software components necessary to perform video capturing, processing, and display. • describe differences and properties of video formats such as fisheye, 360°, or high dynamic range • distinguish video formats and discuss advantages and disadvantages • show real-time demonstrations of these video formats with common portable devices • assess the quality and the compression performance of video formats • come up with new strategies to improve processing algorithms like stitching or compression.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral Mündliche Prüfung von 30 min Dauer
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester Die Prüfung wird noch angeboten jedoch nicht mehr die Vorlesung.
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literaturhinweise werden in der Vorlesung gegeben. References for further reading will be given in the lecture.

1	Module name 96310	Image and Video Compression Image and video compression	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Image and Video Compression (IVC) (4 SWS) Übung: Übung zu Image and Video Compression	5 ECTS -
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup Anna Meyer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	Multi-Dimensional Sampling - Sampling theorem revisited, 2D sampling, spatiotemporal sampling, motion in 3D sampling Entropy and Lossless Coding - Entropy and information, variable length codes, Huffman coding, unary coding, Golomb coding, arithmetic coding Statistical Dependency - Joint entropy and statistical dependency, run-length coding, fax compression standards Quantization - Rate distortion theory, scalar quantization, Lloyd-Max quantization, entropy coded scalar quantization, embedded quantization, adaptive quantization, vector quantization Predictive Coding - Lossless predictive coding, optimum 2D linear prediction, JPEG-LS lossless compression standard, differential pulse code modulation (DPCM) Transform Coding - Principle of transform coding, orthonormal transforms, Karhunen-Loève transform, discrete cosine transform, bit allocation, compression artifacts Subband Coding - Principle of subband coding, perfect reconstruction property, discrete wavelet transform, bit allocation for subband coding Visual Perception and Color - Anatomy of the human eye, sensitivity of the human eye, color spaces, color sampling formats Image Coding Standards - JPEG and JPEG2000 Interframe Coding - Interframe prediction, motion compensated prediction, motion estimation, motion compensated hybrid coding Video Coding Standards - H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 / H.262, H.264 / MPEG-4 AVC, H.265 / MPEG-H HEVC
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden veranschaulichen die mehrdimensionale Abtastung und den Einfluss darauf durch Bewegung im Videosignal

		• unterscheiden und bewerten verschiedene Verfahren zur verlustfreien Codierung von Bild- und Videodaten • verstehen und analysieren Verbundentropie und statistische Abhängigkeiten in Bild- und Videodaten • berechnen skalare und vektorielle Quantisierer nach unterschiedlichen Optimierungsvorgaben (minimaler mittlerer quadratischer Fehler, entropiecodiert, eingebetteter Quantisierer) • bestimmen und evaluieren optimale ein- und zwei-dimensionale lineare Prädiktoren • wenden Prädiktion und Quantisierung sinnvoll in einem gemeinsamen DPCM-System an • verstehen das Prinzip und die Effekte von Transformations- und Teilbandcodierung für Bilddaten einschließlich optimaler Bitzuteilungen • beschreiben die Grundzüge der menschlichen visuellen Wahrnehmung für Helligkeit und Farbe • analysieren Blockschaltbilder und Wirkungsweisen hybrider Coder und Decoder für Videosignale • kennen die maßgeblichen internationalen Standards aus ITU und MPEG zur Bild- und Videokompression. The students • visualize multi-dimensional sampling and the influence of motion within the video signal • differentiate and evaluate different methods for lossless image and video coding • understand and analyze mutual entropy and statistical dependencies in image and video data • determine scalar and vector quantization for different optimization criteria (minimum mean square error, entropy coding, embedded quantization) • determine and evaluate optimal one-dimensional and two-dimensional linear predictor • apply prediction and quantization for a common DPCM system • understand the principle and effects of transform and subband coding for image data including optimal bit allocation • describe the principles of the human visual system for brightness and color • analyze block diagrams and the functioning of hybrid coders and decoders for video signals • know the prevailing international standards of ITU and MPEG for image and video compression.
7	Prerequisites	Modul Signale und Systeme II" und das Modul Nachrichtentechnische Systeme" dringend empfohlen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	J.-R. Ohm: Multimedia Communications Technology, Springer-Verlag, 2004

1	Module name 65718	Introduction to Machine Learning Introduction to machine learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Introduction to Machine Learning (2 SWS) Übung: IntroML-Ex (2 SWS) Übung: IntroML-Tut (2 SWS)	5 ECTS 1,25 ECTS -
3	Lecturers	Dr.-Ing. Vincent Christlein Linda-Sophie Schneider	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Das Modul hat zum Ziel, die Studierenden mit dem prinzipiellen Aufbau eines Mustererkennungssystems vertraut zu machen. Es werden die einzelnen Schritte von der Aufnahme der Daten bis hin zur Klassifikation von Mustern erläutert. Das Modul beginnt dabei mit einer kurzen Einführung, bei der auch die verwendete Nomenklatur eingeführt wird. Die Analog-Digital-Wandlung wird vorgestellt, wobei der Schwerpunkt auf deren Auswirkungen auf die weitere Signalanalyse liegt. Im Anschluss werden gebräuchliche Methoden der Vorverarbeitung beschrieben. Ein wesentlicher Bestandteil eines Mustererkennungssystems ist die Merkmalsextraktion. Verschiedene Ansätze zur Merkmalsberechnung/-transformation werden gezeigt, darunter Momente, Hauptkomponentenanalyse und Lineare Diskriminanzanalyse. Darüber hinaus werden Möglichkeiten vorgestellt, Merkmalsrepräsentationen direkt aus den Daten zu lernen. Das Modul schließt mit einer Einführung in die maschinelle Klassifikation. In diesem Kontext wird der Bayes- und der Gauss-Klassifikator besprochen. The module aims to familiarize students with the basic structure of a pattern recognition system. The individual steps from the acquisition of data to the classification of patterns are explained. The module starts with a short introduction, which also introduces the used nomenclature. Analog-to-digital conversion is introduced, with emphasis on its impact on further signal analysis. Common methods of preprocessing are then described. An essential component of a pattern recognition system is feature extraction. Various approaches to feature computation/transformation are demonstrated, including moments, principal component analysis, and linear discriminant analysis. In addition, ways to learn feature representations directly from the data are presented. The module concludes with an introduction to machine classification. In this context, the Bayes and Gauss classifiers are discussed. T
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erklären die Stufen eines allgemeinen Mustererkennungssystems • verstehen Abtastung, das Abtasttheorem und Quantisierung • verstehen und implementieren Histogrammequalisierung und -dehnung

		• vergleichen verschiedene Schwellwertmethoden • verstehen lineare, verschiebungsinvariante Filter und Faltung • wenden verschiedene Tief- und Hochpassfilter sowie nichtlineare Filter an • wenden verschiedene Normierungsmethoden an • verstehen den Fluch der Dimensionalität • erklären verschiedene heuristische Merkmalsberechnungsmethoden, z.B. Projektion auf einen orthogonalen Basisraum, geometrische Momente, Merkmale basierend auf Filterung • verstehen analytische Merkmalsberechnungsmethoden, z.B. Hauptkomponentenanalyse, Lineare Diskriminanzanalyse • verstehen die Basis von Repräsentationslernen • erläutern die Grundlagen der statistischen Klassifikation (Bayes-Klassifikator) • benutzen die Programmiersprache Python, um die vorgestellten Verfahren der Mustererkennung anzuwenden • lernen praktische Anwendungen kennen und wenden die vorgestellten Algorithmen auf konkrete Probleme an The students • explain the stages of a general pattern recognition system • understand sampling, the sampling theorem, and quantization • understand and implement histogram equalization and expansion • compare different thresholding methods • understand linear, shift invariant filters and convolution • apply various low-pass, high-pass, and nonlinear filters • apply different normalization methods • understand the curse of dimensionality • explain different heuristic feature calculation methods, e.g. projection on an orthogonal base space, geometric moments, features based on filtering • understand analytical feature computation methods, e.g. principal component analysis, linear discriminant analysis • understand the basis of representation learning • explain the basics of statistical classification (Bayes classifier) • use the programming language Python to apply the presented pattern recognition methods • learn practical applications and apply the presented algorithms to concrete problems
7	Prerequisites	Ein Mustererkennungssystem besteht aus den folgenden Stufen: Aufnahme von Sensordaten, Vorverarbeitung, Merkmalsextraktion und maschinelle Klassifikation. Dieses Modul beschäftigt sich in erster Linie mit den ersten drei Stufen und schafft damit die Grundlage für weiterführende Module (Pattern Recognition und Pattern Analysis).

		A pattern recognition system consists of the following stages: Sensor Data Acquisition, Preprocessing, Feature Extraction, and Machine Classification. This module primarily deals with the first three stages and thus creates the basis for more advanced modules (Pattern Recognition and Pattern Analysis).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Vorlesungsfolien/lecture slides • Heinrich Niemann: Klassifikation von Mustern, 2. überarbeitete Auflage, 2003 • Sergios Theodoridis, Konstantinos Koutroumbas: Pattern Recognition, 4. Auflage, Academic Press, Burlington, 2009 • Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stock: Pattern Classification, 2. Auflage, John Wiley & Sons, New York, 2001

1	Module name 44455	Speech and Language Processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Speech and Language Understanding (2 SWS) Übung: Speech and Language Understanding Exercises (0 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Alexander Barnhill Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier Abner Hernandez	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Nach Behandlung der grundlegenden Mechanismen menschlicher Spracherzeugung und Sprachwahrnehmung gibt die Vorlesung eine detaillierte Einführung in (vornehmlich) statistisch orientierte Methoden der maschinellen Erkennung gesprochener Sprache. Schwerpunktthemen sind Merkmalsgewinnung, Vektorquantisierung, akustische Sprachmodellierung mit Hilfe von Markovmodellen, linguistische Sprachmodellierung mit Hilfe stochastischer Grammatiken, prosodische Information sowie Suchalgorithmen zur Beschleunigung des Dekodiervorgangs. After focussing on of the basic mechanisms of human speech generation and speech perception the lecture gives a detailed introduction to (mainly) statistically oriented methods of automatic recognition of spoken language. Main topics are feature extraction, vector quantization, acoustic speech modeling with the help of Markov models, linguistic speech modeling with the help of stochastic grammars, prosodic information as well as search algorithms to speed up the decoding process.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Grundlagen der menschlichen Sprachproduktion und die akustischen Eigenschaften unterschiedlicher Phonemklassen • erklären den allgemeinen Aufbau eines Mustererkennungssystems • verstehen Abtastung, das Abtasttheorem und Quantisierung in Bezug auf Sprachsignale • verstehen die Fourier-Transformation und mathematische Modelle der Sprachproduktion • verstehen harte und weiche Vektorquantisierungsmethoden • verstehen unüberwachtes Lernen (EM-Algorithmus) • verstehen Hidden Markov-Modelle (HMMs) • erklären stochastische Sprachmodelle The students • understand the principles of human speech production and acoustic properties of the different phoneme classes • explain the general pipeline of a pattern recognition system

		• understand sampling, the sampling theorem, and quantization w.r.t. speech signals • understand Fourier transformation and mathematical models of speech production • understand hard and soft vector quantization methods • understand unsupervised learning (EM-algorithm) • understand Hidden Markov Models (HMMs) • explain stochastic language models
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Niemann H.: Klassifikation von Mustern; Springer, Berlin 1983 • Niemann H.: Pattern Analysis and Understanding; Springer, Berlin 1990 • Schukat-Talamazzini E.G.: Automatische Spracherkennung; Vieweg, Wiesbaden 1995 • ◦ Rabiner L.R., Juang B.H.: Fundamentals of Speech Recognition; Prentice Hall, New Jersey 1993

1	Module name 93330	Deep Learning for Beginners Deep learning for beginners	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Deep Learning for Beginners (VHB-Kurs) (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Aline Sindel	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Neural networks have had an enormous impact on research in image and signal processing in recent years. In this course, you will learn all the basics about deep learning in order to understand how neural network systems are built. The course is addressed to students who are new to the field. In the beginning of the course, we introduce you to the topic with some applications of deep learning in the field of medical imaging, digital humanities and industry projects. Before we dive into the core elements of neural networks, there are two lecture units on the fundamentals of signal and image processing to teach you relevant parts of system theory such as convolutions, Fourier transform, and sampling theorem. In the next lecture units, you learn the basic blocks of neural networks, such as backpropagation, fully connected layers, convolutional layers, activation functions, loss functions, optimization, and regularization strategies. Then, we look into common practices for training and evaluating neural networks. The next lecture unit is focusing on common neural network architectures, such as LeNet, Alexnet, and VGG. It follows a lecture unit about unsupervised learning that contains the principles of autoencoders and generative adversarial networks. Lastly, we cover some applications of deep learning in segmentation and object detection. The accompanying programming exercises will provide a deeper understanding of the workings and architecture of neural networks, in which you will develop a basic neural network from scratch in pure Python without using deep learning frameworks, such as PyTorch or TensorFlow. At the end of the semester, there will be a written exam.
6	Learning objectives and skills	The students • explain the different neural network components, • compare and analyze methods for optimization and regularization of neural networks, • compare and analyze different CNN architectures, • explain deep learning techniques for unsupervised / semi-supervised and weakly supervised learning, • explain different deep learning applications, • implement the presented methods in Python, • effectively investigate raw data, intermediate results and results of Deep Learning techniques on a computer, • autonomously supplement the mathematical foundations of the presented methods by self-guided study of the literature, • discuss the social impact of applications of deep learning applications.

7	Prerequisites	Requirements: mathematics for engineering, basic knowledge of python
8	Integration in curriculum	semester: 4
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (60 minutes) The final exam is a written exam with 60 minutes duration.
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 0 h Independent study: 75 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 816185	Body Area Communications Body area communications	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	Contents: The Lecture and exercise deals with the following topics: • Introduction to Body Area Communications • Electromagnetic Characteristics of Human Body • Electromagnetic Analysis Methods • Body Area Channel Modeling • Modulation/Demodulation • Body Area Communication Performance • Electromagnetic Compatibility Consideration
6	Learning objectives and skills	Learning objectives • Students understand the challenges in designing Body Area Communication (BAC) systems • Students can conduct basic design decisions with BAC systems, like frequency and modulation selection • Students understand electromagnetic wave propagation in bodies • Students understand the frequency dependent loss and propagation behavior of electromagnetic waves • Students can analyze the communication performance of a BAC system • Students can evaluate Electromagnetic Compatibility of a BAC system • Students can assess the field strength inside body and relate it to regulatory limits like SAR (Specific Absorption rate), frequency dependent maximum electrical and magnetic field strength • Students can sketch block diagrams of BAC systems • Students can derive channel models for BAC
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 47576	Enterprise Application Development und Evolutionäre Informationssysteme eBusiness technologies and evolutionary information systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Enterprise Application Development (ehemals eBusiness Technologies) (2 SWS) Vorlesung: Evolutionäre Informationssysteme (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Florian Irmert Nadja Deuerlein Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz
5	Contents	EAD Themen u.a. aus den folgenden Bereichen: • Softwareengineering wie z. B. Design Pattern • Softwarearchitektur wie z. B. Skalierbarkeit, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit • Web Frameworks wie z. B. React • User Experience und Usability wie z. B. UI Guidelines • Agile Softwareentwicklung wie z. B. Scrum • DevOps wie z. B. Continuous Integration EIS: • Grundlagen rechnergestützter Informationssysteme und organisatorisches Lernen • Erfolgsfaktoren für Projekte • Software Wartung vs. Software Evolution • Architekturmodelle • Grundprinzipien evolutionärer Systeme • Datenqualität in Informationssystemen
6	Learning objectives and skills	EAD: Die Studierenden • können einen Überblick über die Entwicklung von Web-Applikationen geben • wiederholen Grundlagen des Webs, von Datenaustauschformaten und serverseitige Technologien • unterscheiden Herangehensweisen zur dynamischen Generierung von Webseiten • wiederholen Grundlagen des SW-Engineerings • verstehen wichtige Design-Patterns • verstehen die Bedeutung von Software-Architektur • verstehen grundlegende Eigenschaften eines Web-Frameworks • können wichtige Zusammenhänge und Kriterien im Bereich UX erläutern • verstehen agile Vorgehensmodelle zur Software-Entwicklung • verstehen die Herausforderungen in Bezug auf den Betrieb von Anwendungen (DevOps)

EIS:

Die Studierenden:

- definieren die Begriffe "Informationssysteme", "evolutionäre Informationssysteme" und "organisatorisches Lernen"
- grenzen die Begriffe "Wissen" und "Information" gegeneinander ab
- charakterisieren die in der Vorlesung erläuterten Formen der organisatorischen Veränderung
- erklären das SEKI Modell nach Nonaka und Takeuchi
- nennen Beispiele für die in der Vorlesung behandelten Formen der Wissensrepräsentation in IT-Systemen
- nennen typische Erfolgs- und Risikofaktoren für große IT-Projekte
- erklären die Kraftfeldtheorie nach Kurt Lewin
- unterscheiden Typen von Software gemäß der Klassifikation nach Lehman und Belady
- unterscheiden die in der Vorlesung vorgestellten Arten der Software Wartung
- benennen die Gesetzmäßigkeiten der Software-Evolution nach Lehman und Belady
- bewerten die in der Vorlesung vorgestellten Vorgehensmodelle zur Softwareerstellung im Kontext der E-Typ-Software
- nennen die in der Vorlesung vorgestellten Aspekte der Evolutionsfähigkeit von Software
- erklären, wie die in der Vorlesung vorgestellten Methoden zur Trennung von Belangen beitragen
- erklären das Konzept des "Verzögerten Entwurfs"
- erklären die Vor- und Nachteile generischer Datenbankschemata am Beispiel von EAV und EAV/CR
- charakterisieren die in der Vorlesung vorgestellten Architekturkonzepte
- grenzen die in der Vorlesung vorgestellten Integrationsanforderungen gegeneinander ab
- erklären wie Standards zur Systemintegration beitragen und wo die Grenzen der Standardisierung liegen
- erklären das Prinzip eines Kommunikationsservers und der nachrichtenbasierten Integration
- erklären den Begriff "Prozessintegration"
- definieren den Begriff "Enterprise Application Integration" (EAI)
- unterscheiden die in der Vorlesung vorgestellten Integrationsansätze
- erklären die in der Vorlesung vorgestellten Dimensionen der Datenqualität
- unterscheiden die grundlegenden Messmethoden für Datenqualität
- erklären das Maßnahmenportfolio zur Verbesserung der Datenqualität nach Redman
- benennen die in der Vorlesung vorgestellten Methoden zur Verbesserung der Datenqualität

7	Prerequisites	Programmieren in Java, Datenbanken (SQL)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	
16	Bibliography	siehe Lehrveranstaltungsbeschreibungen

1	Module name 93069	Cyber Security for Smart Grids	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Abdullah Alshraa Dr.-Ing. Kai-Steffen Hielscher
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	
16	Bibliography	

1	Module name 97640	Laborpraktikum Mobilkommunikation Laboratory course: Mobile communication	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Mobilkommunikation / Lab Course Mobile Communications - Group 1 (3 SWS) Praktikum: Praktikum Mobilkommunikation / Lab Course Mobile Communications - Group 2 (3 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker
5	Contents	Experiments • ◦ Characteristics of real mobile radio channels such as distortions and time variability ◦ models for mobile radio channels ◦ effects on the performance of a mobile radio system • ◦ Principles of different equalization methods ◦ equalizer design for GSM / EDGE ◦ simulation of trellis-based equalizers and visualization of the results • ◦ Principle of OFDM ◦ implementation-relevant aspects such as nonlinearities and peak-to-average-power ratio ◦ synchronization and equalization • MIMO Transmission (2 experiments) Versuche • ◦ Eigenschaften realer Mobilfunkkanäle wie Verzerrungen und Zeitvarianz, ◦ Modelle für Mobilfunkkanäle ◦ Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit eines Mobilfunksystems • ◦ Prinzipien verschiedener Entzerrverfahren ◦ Entzerrerdesign für GSM/EDGE ◦ Simulation von trellisbasierten Entzerrern und Visualisierung der Ergebnisse • ◦ Prinzip von OFDM ◦ implementierungsrelevante Aspekte wie Nichtlinearitäten und Spitzenwertfaktor ◦ Synchronisation und Entzerrung • MIMO Übertragung (2 Versuche)
6	Learning objectives and skills	The students • describe the characteristics of real mobile radio channels,

		• explain the principles of OFDM and MIMO transmission systems, • implement equalization and adaptation procedures in Matlab, • perform radio network simulations, • learn to develop program code, • work together in a small team. Die Studierenden • charakterisieren die Eigenschaften realer Mobilfunkkanäle, • erklären die Funktionsweise von OFDM- und MIMO-Übertragungssystemen, • implementieren Entzerrungs- und Adaptionungsverfahren in Matlab, • führen Funknetzsimulationen durch, • erlernen Programmcode eingeständig zu entwickeln, • arbeiten zielorientiert in einem kleinen Team zusammen.
7	Prerequisites	Vorkenntnisse aus Vorlesungen zu Nachrichtenübertragung (Communications) und Systemtheorie (Signals and Systems); Inhalte des Moduls "Mobile Communications" sind erforderliche Voraussetzung für eine sinnvolle Teilnahme;
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement • There are 8 experiments to be completed as well as an introduction to Matlab. These are described in the course materials. • Each experiment is to be prepared in writing at home. The preparation is checked and evaluated (sufficient/not sufficient) at the beginning of each experiment. • The results of each experiment are to be kept on the experimental computers during the execution of the experiment (programming tasks) and are checked at the end of the experiment (sufficient/not sufficient). Measurement results are to be documented in writing. • To pass the course, 8 sufficient experiment preparations and 8 sufficient experiment executions are required. • Es sind 8 Versuche sowie eine Einführung in Matlab zu absolvieren. Diese sind in den Kursunterlagen beschrieben.

		• Jeder Versuch ist zu Hause schriftlich vorzubereiten. Die Vorbereitung wird zu Beginn eines jeden Versuchs überprüft und bewertet (ausreichend/nicht ausreichend). • Die Ergebnisse eines jeden Versuchs sind während der Versuchsdurchführung auf den Versuchsrechnern vorzuhalten (Programmieraufgaben) und werden zum Abschluss des Versuchs überprüft (ausreichend/nicht ausreichend). Messergebnisse sind schriftlich zu dokumentieren. • Zum Bestehen des Praktikums sind 8 ausreichende Versuchsvorbereitungen und 8 ausreichende Versuchsdurchführungen notwendig.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 35 h Independent study: 40 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Skriptum zum Praktikum Mobilkommunikation

1	Module name 43822	Computer Graphics Computer graphics	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Marc Stamminger
5	Contents	Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Computergraphik: • Graphik Pipeline • Clipping • 3D Transformationen • Hierarchische Display Strukturen • Perspektive und Projektionen • Visibilitätsbetrachtungen • Rastergraphik und Scankonvertierung • Farbmodelle • Lokale und globale Beleuchtungsmodelle • Schattierungsverfahren • Ray Tracing und Radiosity • Schatten und Texturen Contents: This lecture covers the following aspects of Computer Graphics: • graphics pipeline • clipping • 3D transformations • hierarchical display structures • perspective transformations and projections • visibility determination • raster graphics and scan conversion • color models • local and global illumination models • shading models • ray tracing and radiosity • shadows and textures
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • geben die unterschiedlichen Schritte der Graphik Pipeline wieder • erklären die Funktionsweise der Clippingalgorithmen für Linien und Polygone • beschreiben, charakterisieren und berechnen affine und perspektivische Transformationen in 3D und veranschaulichen die allgemeine Form der Transformationsmatrix in homogener Koordinaten • skizzieren die Verfahren zur Tiefe- und Visibilitätsberechnung • vergleichen die unterschiedlichen Farbmodelle der Computergraphik

		• illustrieren und untersuchen die Datenstrukturen zur Beschreibung virtueller 3D Modelle und komplexer Szenen • erläutern die Funktionsweise der Rasterisierung und Scankonvertierung in der Graphikpipeline • lösen Aufgaben zu Beleuchtung und Texturierung von 3D virtuellen Modellen • klassifizieren Schattierungsverfahren • bestimmen den Unterschied zwischen lokaler und globaler Beleuchtung und formulieren Algorithmen für Ray Tracing und Radiosity *Educational objectives and skills:* Students should be able to • describe the processing steps in the graphics pipeline • explain clipping algorithms for lines and polygons • explain, characterize and compute affine and perspective transformations in 2D and 3D, and provide an intuitive description of the general form of corresponding transformation matrices in homogeneous coordinates • depict techniques to compute depth, occlusion and visibility • compare the different color models • describe data structures to represent 3D virtual models and complex scenes • explain the algorithms for rasterization and scan conversion • solve problems with shading and texturing of 3D virtual models • classify different shadowing techniques • explain the difference between local and global illumination techniques and formulate algorithms for ray tracing and radiosity
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Tutorial achievement Written examination (60 minutes) Die Übungen ("Computer Graphics Basic Tutorials") bestehen aus insgesamt 10 wöchentlichen Aufgabenblättern mit kleinen Programmieraufgaben. The exercises ("Computer Graphics Basic Tutorials") consist of weekly worksheets (10 worksheets in total) with small programming tasks.
11	Grading procedure	Tutorial achievement (pass/fail) Written examination (100%)

		Zum Bestehen des Moduls müssen 50% der Punkte in den Übungen erreicht und die Abschlussprüfung bestanden werden. Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Prüfung. The module is passed when 50% of the points in the exercises are reached and when the final exam is passed. The grade of the module is entirely determined by the grade in the final exam.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	• P. Shirley: Fundamentals of Computer Graphics. AK Peters Ltd., 2002 • Hearn, M. P. Baker: Computer Graphics with OpenGLD. Pearson • Foley, van Dam, Feiner, Hughes: Computer Graphics - Principles and Practice • Rauber: Algorithmen der Computergraphik • Bungartz, Griebel, Zenger: Einführung in die Computergraphik • Encarnação, Strasser, Klein: Computer Graphics

1	Module name 44522	Audio Processing for the Internet of Things Audio processing for the Internet of Things	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Audio Processing for the Internet of Things (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers		

4	Module coordinator	Prof. Dr. Nils Peters
5	Contents	The course focuses on audio and speech processing algorithms within the context of the Internet of Things (IoT). • Foundation (history, components, current challenges) • Overview of relevant wireless protocols (bandwidth, range, latency, spectrum) • Audio device synchronization (NTP, PTP, device orchestration, acoustic wireless sensor networks, asynchronous and event-driven audio sampling) • Acoustic Sensing for Voice User Interfaces (keyword spotting, speech recognition, speaker verification, anti-spoofing) • Acoustic Scene Detection (event detection, scene classification, anomaly detection, sound tagging, blind reverb estimation) • Sound Creation (text-to-speech, sound generative networks) • Data-over-sound (sound-beacon, watermarking, acoustic fingerprint) • Privacy in IoT (edge vs. cloud processing, secure signal processing, federated learning, differential privacy, audio encryption)
6	Learning objectives and skills	The students will be able to • understand the principles, key components, and current in IoT • know the differences between various wireless transmission protocols and can give recommendations based on the IoT use case • understand the differences of edge- and cloud-based audio signal processing • understand algorithmic strategies to enhance privacy in IoT use cases • understand the algorithmic components in a voice user interface • understand state-of-the art methods for detection and classification of acoustic scenes and events • learn and apply algorithms to transmit data via acoustic signals • quantify the impact of latency in audio networks and apply strategies for acoustic device synchronization
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Recommendations for each topic are given during the lectures

1	Module name 792501	Forensische Informatik Forensic computing (lecture with tutorial)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Forensische Informatik - Übung (2 SWS) Vorlesung mit Übung: Forensische Informatik (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Maximilian Eichhorn Prof. Dr.-Ing. Felix Freiling	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Felix Freiling
5	Contents	Forensische Informatik befasst sich mit der Sammlung, Aufbereitung und Analyse digitaler Beweismittel zur Verwendung vor Gericht. Ausgangspunkt ist jeweils der Verdacht auf einen Computereinbruch oder eine Straftat, die mit Hilfe von digitalen Geräten vorgenommen worden ist. Dieses Modul gibt einen Überblick über die Methoden der forensischen Informatik aus einer wissenschaftlichen Perspektive. Der Schwerpunkt liegt auf der Analyse von Dateisystemen. Ziel der Lehrveranstaltung ist nicht die Ausbildung von Forensik-Praktikern, sondern die Vermittlung von Kenntnissen, die es einem erlauben, Forschung im Bereich Computerforensik zu betreiben. Im Rahmen der Übung werden die Themen der Vorlesung im Rahmen von Fallstudien praktisch eingeübt. Voraussichtliche Themen: • Definition forensische Informatik • Der forensische Prozess und seine wissenschaftliche Fundierung • Rechtliche Rahmenbedingungen • Sichern von Festplatten • Analyse verschiedener Dateisysteme (FAT32, NTFS, Ext2/Ext3) • Tools
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden können Termini und Methoden der digitalen Forensik in die Entwicklung der forensischen Wissenschaften einordnen. Die Studierenden können die wesentlichen Datenstrukturen verschiedener Dateisysteme erklären. Sie können die für forensische Zwecke wesentlichen Datenstrukturen lokalisieren und geeignete Werkzeuge zu ihrer Analyse auswählen und anwenden. Die Studierenden können digitale Spuren konkreter Fallkonstellationen durch Anwendung von Werkzeugen rekonstruieren, analysieren, interpretieren und dokumentieren. Sie lernen ihre Untersuchungsergebnisse zu präsentieren und gegenüber kritischen Nachfragen zu verteidigen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 3
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes) Die mündliche Prüfung dauert 30 Minuten.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Brian Carrier: File System Forensic Analysis. Addison-Wesley, 2005. • Eoghan Casey: Digital Evidence and Computer Crime - Forensic Science, Computers and the Internet, 3rd Edition. Academic Press 2011. • Andreas Dewald, Felix Freiling: Forensische Informatik. 3. Auflage, BoD, 2015.

1	Module name 93872	Angewandte Informationssicherheit Applied information security	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Angewandte Informationssicherheit	-
3	Lecturers	Lydia Weinberger Ella Savchenko Prof. Dr. Michael Tielemann	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Michael Tielemann Lydia Weinberger
5	Contents	Informationssicherheit dient dem Schutz vor Gefahren bzw. Bedrohungen, der Vermeidung von wirtschaftlichen Schäden und der Minimierung von Risiken in Bezug auf digital und analog vorliegende Informationen. Die Vorlesung gibt einen einführenden Überblick über Konzepte und Methoden der angewandten Informationssicherheit. Themenschwerpunkte sind (unter anderem): • Risikomanagement • Notfallmanagement Grundlegende Bausteine, relevante Sicherheitsaspekte und mögliche Gefährdungen und Anforderungen an ein Managementsystem zur Informationssicherheit (ISMS), geben u. a. Normen wie z.B. ISO27001 und der BSI Grundschutz vor. In der Übung finden die in der Vorlesung vorgestellten Konzepte und Methoden anhand konkreter Beispiele Anwendung.
6	Learning objectives and skills	Verstehen: Sie sind in der Lage technische wie regulatorische Abhängigkeiten und Zusammenhänge zu erkennen und zu bewerten. Die Grundlagen für eine eigene Klassifizierung und Anpassung von Sicherheitsmaßnahmen werden gemeinsam erarbeitet. Anwenden: Die Teilnehmer lernen die Grundlagen für den Aufbau eines Risiko- und Notfallmanagements. Sie sind in der Lage die relevanten Gesetzesvorgaben und die daraus abzuleitenden sicherheitstechnischen Vorgaben zu beschreiben und zu vergleichen. Lernende können alternative Lösungsmöglichkeiten skizzieren. Analysieren: Die Teilnehmer können bestehende Risiken identifizieren, bewerten und analysieren. Evaluieren: Die Lernenden können nach der VL allgemeine Betriebs- und Sicherheitsmodelle ableiten, Bedrohungsszenarien bewerten und praxisnahe Kriterien aufstellen.

		Erschaffen: Durch die Vermittlung der interdisziplinären Anforderungen anhand von Lösungsbeispielen werden die Lernenden in die Lage versetzt, eigenständig Sicherheitskonzepte, sowie Maßnahmen umzusetzen und zu gestalten.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• BRENNER, Michael, et al. Praxisbuch ISO/IEC 27001: Management der Informationssicherheit und Vorbereitung auf die Zertifizierung. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2022 • BSI. "IT-Grundschutz-Kompendium (Edition 2023)." Bundesamt Für Sicherheit in Der Informationstechnik, 1 Feb. 2023, www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Kompendium/IT_Grundschutz_Kompendium_Edition2023.html

1	Module name 44455	Speech and Language Processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Speech and Language Understanding (2 SWS) Übung: Speech and Language Understanding Exercises (0 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Alexander Barnhill Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier Abner Hernandez	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Nach Behandlung der grundlegenden Mechanismen menschlicher Spracherzeugung und Sprachwahrnehmung gibt die Vorlesung eine detaillierte Einführung in (vornehmlich) statistisch orientierte Methoden der maschinellen Erkennung gesprochener Sprache. Schwerpunktthemen sind Merkmalsgewinnung, Vektorquantisierung, akustische Sprachmodellierung mit Hilfe von Markovmodellen, linguistische Sprachmodellierung mit Hilfe stochastischer Grammatiken, prosodische Information sowie Suchalgorithmen zur Beschleunigung des Dekodiervorgangs. After focussing on of the basic mechanisms of human speech generation and speech perception the lecture gives a detailed introduction to (mainly) statistically oriented methods of automatic recognition of spoken language. Main topics are feature extraction, vector quantization, acoustic speech modeling with the help of Markov models, linguistic speech modeling with the help of stochastic grammars, prosodic information as well as search algorithms to speed up the decoding process.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Grundlagen der menschlichen Sprachproduktion und die akustischen Eigenschaften unterschiedlicher Phonemklassen • erklären den allgemeinen Aufbau eines Mustererkennungssystems • verstehen Abtastung, das Abtasttheorem und Quantisierung in Bezug auf Sprachsignale • verstehen die Fourier-Transformation und mathematische Modelle der Sprachproduktion • verstehen harte und weiche Vektorquantisierungsmethoden • verstehen unüberwachtes Lernen (EM-Algorithmus) • verstehen Hidden Markov-Modelle (HMMs) • erklären stochastische Sprachmodelle The students • understand the principles of human speech production and acoustic properties of the different phoneme classes • explain the general pipeline of a pattern recognition system

		• understand sampling, the sampling theorem, and quantization w.r.t. speech signals • understand Fourier transformation and mathematical models of speech production • understand hard and soft vector quantization methods • understand unsupervised learning (EM-algorithm) • understand Hidden Markov Models (HMMs) • explain stochastic language models
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Niemann H.: Klassifikation von Mustern; Springer, Berlin 1983 • Niemann H.: Pattern Analysis and Understanding; Springer, Berlin 1990 • Schukat-Talamazzini E.G.: Automatische Spracherkennung; Vieweg, Wiesbaden 1995 • ◦ Rabiner L.R., Juang B.H.: Fundamentals of Speech Recognition; Prentice Hall, New Jersey 1993

1	Module name 43190	Reconfigurable Computing with extended exercises Reconfigurable computing	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Joachim Falk
5	Contents	Content: Reconfigurable (adaptive) computing is a novel yet important research field investigating the capability of hardware to adapt to changing computational requirements such as emerging standards, late design changes, and even to changing processing requirements arising at run-time. Reconfigurable computing thus benefits from a) the programmability of software similar to the Von Neumann computer and b) the speed and efficiency of parallel hardware execution. The purpose of the course reconfigurable computing is to instruct students about the possibilities and rapidly growing interest in adaptive hardware and corresponding design techniques by providing them the necessary knowledge for understanding and designing reconfigurable hardware systems and studying applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. After a general introduction about benefits and application ranges of reconfigurable (adaptive) computing in contrast to general-purpose and application-specific computing, the following topics will be covered: • Reconfigurable computing systems: Introduction of available technology including fine grained look up table (LUT-) based reconfigurable systems such as field programmable gate arrays (FPGA) as well as newest coarse grained architectures and technology. • Design and implementation: Algorithms and steps (design entry, functional simulation, logic synthesis, technology mapping, place and route, bit stream generation) to implement (map) algorithms to FPGAs. The main focus lies on logic synthesis algorithms for FPGAs, in particular LUT technology mapping. • Temporal partitioning: techniques to reconfigure systems over time. Covered are the problems of mapping large circuits which do not fit one single device. Several temporal partitioning techniques are studied and compared. • Temporal placement: Techniques and algorithms to exploit the possibility of partial and dynamic (run-time) hardware reconfiguration. Here, OS-like services are needed that optimize the allocation and scheduling of modules at run-time. • On-line communication: Modules dynamically placed at run-time on a given device need to communicate as well as transport data off-chip. State-of-the-art techniques are introduced how modules can communicate data at run-time

		including bus-oriented as well as network-on-a-chip (NoC) approaches. • Designing reconfigurable applications on Xilinx Virtex FPGAs: In this part, the generation of partial bitstreams for components to be placed at run-time on Xilinx FPGAs is introduced and discussed including newest available tool flows. • Applications: This section presents applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. It covers the use of reconfigurable systems including rapid prototyping, reconfigurable supercomputers, reconfigurable massively parallel computers and studies important application domains such as distributed arithmetic, signal processing, network packet processing, control design, and cryptography.
6	Learning objectives and skills	Learning objectives and competencies: Domain-specific knowledge • The students know to exploit run-time reconfigurable design methodologies for adaptive applications. Domain-specific comprehension • The students understand the mapping steps, and optimization algorithms. • The students classify different types and kinds of reconfigurable hardware technologies available today. • The students clarify pros and cons of reconfigurable computing technology. • The students summarize applications benefiting from reconfigurable computing. Domain-specific practice • The students apply design tools for implementation of circuits and systems-on-a-chip (SoC) on FPGAs during practical training. Social competency • The students perform group work in small teams during practical training.
7	Prerequisites	Selection of this module prohibits the selection of the modules "Reconfigurable Computing", "Reconfigurable Computing (Lecture with Exercises)", or "Reconfigurable Computing (Lecture with Extended Exercises)" by the student.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Oral exam in case of less than 20 participants (duration 30 mins). Otherwise, written exam (duration 90 mins). In both cases, successful

		completion of all tasks of the extended exercises is mandatory at the workstations in our lab at the chair.
11	Grading procedure	Variable (100%) The exam determines the final grade of the module.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Further reading material: • The Hamburg VHDL Archive (see Documentation link for free books) http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/research/vlsi/vhdl/index.php • Interactive VHDL Tutorial with 150 examples from ALDEC http://www.aldec.com/downloads/ • Easy FPGA tutorials, projects, and boards http://www.fpga4fun.com • Xilinx WebPack ISE and Modelsim MXE (free FPGA synthesis tool and free VHDL simulator) http://www.xilinx.com/ise/logic_design_prod/webpack.htm • Symphony EDA free VHDL simulator (select FREE Edition license) http://www.symphonyeda.com/products.htm • Icarus open-source Verilog simulator http://www.icarus.com/eda/verilog/ Further information: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/reconfigurable-computing/

1	Module name 44200	Computational Neurotechnology / Numerische Neurotechnologie Computational neurotechnology / Numerical neurotechnology	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Computational Neurotechnology	-
3	Lecturers	Prof. Dr. Tobias Reichenbach	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Tobias Reichenbach
5	Contents	Foundations of Computational Neuroscience and the processing of neural signals. Applications in the areas of artificial neural networks, Brain-Machine-Interfaces (BCIs) and neural prosthesis.
6	Learning objectives and skills	• Can understand the principles of the analysis of neural signals • Can apply information theory for the description of neural activity • Can perform simulations of the dynamics of single neurons as well as of neural networks • Can evaluate different approaches to construct Brain-Machine-Interfaces (BCIs) • Can explain concepts for the design of neural prosthesis
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination Written exam (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Dayan, Peter, and Laurence F. Abbott. Theoretical neuroscience: computational and mathematical modeling of neural systems. Computational Neuroscience Series, 2001. Gerstner, Wulfram, et al. Neuronal dynamics: From single neurons to networks and models of cognition. Cambridge University Press, 2014. Oweiss, Karim G., ed. Statistical signal processing for neuroscience and neurotechnology. Academic Press, 2010.

	Maurits, Natasha. From neurology to methodology and back: an introduction to clinical neuroengineering. Springer Science & Business Media, 2011. Clément, Claude. Brain-Computer Interface Technologies. Springer International Publishing, 2019. DiLorenzo, Daniel J., and Joseph D. Bronzino, eds. Neuroengineering. CRC Press, 2007.

1	Module name 47664	Fundamentals in Anatomy and Physiology for Engineers Fundamentals in anatomy and physiology for engineers	5 ECTS
2	Courses / lectures	Online-Kurs: Fundamentals in Anatomy and Physiology for Engineers (4 SWS) This module is offered as an online course only. For more information, please join the StudOn course.	-
3	Lecturers	Benedikt Kleinsasser Prof. Dr. Dr. h. c. Friedrich Paulsen	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Michael Eichhorn
5	Contents	• Biological Systems • Trunk System • Nervous System • Respiration • Circulation • Heart • Digestion • Neuroscience • Functional cardiology • Advanced endoscopy • Advanced neuroimaging
6	Learning objectives and skills	Students are able to • describe relevant structures of the human anatomy and basic physiological processes • understand features of biological systems when applying optical technologies to them • describe exemplarily applications of optical technologies in medicine
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Written exam, 90 min.
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

16	Bibliography	Gerard J. Tortora, Bryan Derrickson: Principles of Anatomy and Physiology:

1	Module name 43374	Computer Graphics Deluxe	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Marc Stamminger
5	Contents	Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Computergraphik: • Graphik Pipeline • Clipping • 3D Transformationen • Hierarchische Display Strukturen • Perspektive und Projektionen • Visibilitätsbetrachtungen • Rastergraphik und Scankonvertierung • Farbmodelle • Lokale und globale Beleuchtungsmodelle • Schattierungsverfahren • Ray Tracing und Radiosity • Schatten und Texturen Contents: This lecture covers the following aspects of Computer Graphics: • graphics pipeline • clipping • 3D transformations • hierarchical display structures • perspective transformations and projections • visibility determination • raster graphics and scan conversion • color models • local and global illumination models • shading models • ray tracing and radiosity • shadows and textures
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • geben die unterschiedlichen Schritte der Graphik Pipeline wieder • erklären die Funktionsweise der Clippingalgorithmen für Linien und Polygone • beschreiben, charakterisieren und berechnen affine und perspektivische Transformationen in 3D und veranschaulichen die allgemeine Form der Transformationsmatrix in homogener Koordinaten • skizzieren die Verfahren zur Tiefe- und Visibilitätsberechnung • vergleichen die unterschiedlichen Farbmodelle der Computergraphik

		• illustrieren und untersuchen die Datenstrukturen zur Beschreibung virtueller 3D Modelle und komplexer Szenen • erläutern die Funktionsweise der Rasterisierung und Scankonvertierung in der Graphikpipeline • implementieren 3D Transformationen mithilfe der Programmiersprache C++ und der graphischen Bibliothek OpenGL • Implementieren Beleuchtungsmodelle und Texturierung von virtuellen 3D Objekten mithilfe der Programmiersprachen OpenGL und GLSL • lösen Aufgaben zu Beleuchtung und Texturierung von 3D virtuellen Modellen • klassifizieren Schattierungsverfahren • bestimmen den Unterschied zwischen lokaler und globaler Beleuchtung und formulieren Algorithmen für Ray Tracing und Radiosity *Educational objectives and skills:* Students should be able to • describe the processing steps in the graphics pipeline • explain clipping algorithms for lines and polygons • explain, characterize and compute affine and perspective transformations in 2D and 3D, and provide an intuitive description of the general form of corresponding transformation matrices in homogeneous coordinates • depict techniques to compute depth, occlusion and visibility • compare the different color models • describe data structures to represent 3D virtual models and complex scenes • explain the algorithms for rasterization and scan conversion • solve problems with shading and texturing of 3D virtual models • classify different shadowing techniques • explain the difference between local and global illumination techniques and formulate algorithms for ray tracing and radiosity
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Sowohl die Computer Graphics Basic Tutorials als auch die Computer Graphics Advanced Tutorials bestehen aus 10 wöchentlichen Aufgabenblättern mit kleinen Programmieraufgaben.
10	Method of examination	Tutorial achievement Tutorial achievement

		Written examination (60 minutes) Zum Bestehen des Moduls müssen 50% der Punkte in den Übungen erreicht und die Prüfung bestanden werden. Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Tutorial achievement (pass/fail) Tutorial achievement (pass/fail) Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• P. Shirley: Fundamentals of Computer Graphics. AK Peters Ltd., 2002 • Hearn, M. P. Baker: Computer Graphics with OpenGL. Pearson • Foley, van Dam, Feiner, Hughes: Computer Graphics - Principles and Practice • Rauber: Algorithmen der Computergraphik • Bungartz, Griebel, Zenger: Einführung in die Computergraphik • Encarnação, Strasser, Klein: Computer Graphics

Elective modules from the Faculty of Engineering or Faculty of Sciences

1	Module name 43961	Knowledge Discovery in Databases mit Übung Knowledge discovery in databases with tutorial	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Knowledge Discovery in Databases (2 SWS) Übung: Übungen zu KDD (2 SWS) Übung: Übungen zu KDD (Parallelgruppe wird nicht sicher angeboten) (2 SWS)	- - -
3	Lecturers	Dominik Probst Lucas Weber	

4	Module coordinator	Dominik Probst
5	Contents	Theoretical knowledge on: • Why data mining? • What is data mining? • A multi-dimensional view of data mining • What kinds of data can be mined? • What kinds of patterns can be mined? • What technologies are used? • What kinds of applications are targeted? • Major issues in data mining • A brief history of data mining Practical exercises on: • Introduction to Pandas & scikit-learn • Data analysis & data preprocessing • Frequent Pattern • Classification • Clustering • Outlier
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • kennen den typischen KDD-Prozess; • kennen Verfahren zur Vorbereitung von Daten für das Data Mining; • definieren Distanz- oder Ähnlichkeits-Funktionen auf einem speziellen Datenbestand; • überprüfen Attribute eines Datensatzes auf ihre Bedeutung für die Analyse hin und transformieren ggf. Attributwerte geeignet; • wissen, wie ein typisches Data Warehouse aufgebaut ist; • kennen die Definition von Distanz- bzw. Ähnlichkeitsfunktionen für die verschiedenen Typen von Attributen; • sind vertraut mit dem Prinzip des Apriori-Algorithmus zur Bestimmung von Mengen häufiger Elemente (frequent itemsets); • kennen den FP-Growth-Algorithmus zum schnellen Auffinden von Mengen häufiger Elemente; • geben die Definitionen von Support und Confidence für Assoziationsregeln wieder; • beschreiben die Ermittlung von Assoziationsregeln auf der Basis von Mengen häufiger Elemente;

		• sind in der Lage, die Vorgehensweise bei Klassifikationsaufgaben darzustellen; • legen dar, wie ein Entscheidungsbaum auf einem Trainingsdatensatz erzeugt wird; • stellen das Prinzip der Bayes'schen Klassifikation dar; • zählen verschiedene Clustering-Verfahren auf; • beschreiben den Ablauf von k-Means-Clustering; • kennen die verschiedenen Arten von Ausreißern; • können die verschiedenen Schritte eines KDD Prozesses auch praktisch anwenden. The students: • know the typical KDD process; • know procedures for the preparation of data for data mining; • know the definition of distance or similarity functions for the different kinds of attributes; • define distance and similarity functions for a particular dataset; • check attributes of a dataset for their meaning with reference to an analysis and transform attribute values accordingly, if required. • know how a typical data warehouse is structured; • are familiar with the principle of the Apriori algorithm for the identification of frequent itemsets; • know the FP-growth algorithm for a faster identification of frequent itemsets; • present the definitions of support and confidence for association rules; • describe the construction of association rules based on frequent itemsets; • are capable of describing the course of action in classification tasks; • present the construction of a decision tree based on a training dataset; • present the principle of Bayes' classification; • enumerate different clustering procedures; • describe the steps of k-means clustering; • know the different kinds of outliers; • are able to practically apply the various steps of a KDD process.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination with multiple choice (90 minutes)

11	Grading procedure	Written examination with multiple choice (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	The lecture is based on the following book: • J. Han, M. Kamber, and J. Pei, Data Mining: Concepts and Techniques, 3rd. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2011, ISBN: 0123814790 Also interesting and related textbooks are: • A. Géron, Hands-on machine learning with Scikit-Learn and TensorFlow : concepts, tools, and techniques to build intelligent systems, 2nd ed. O'Reilly Media, 2017, ISBN: 978-1491962299 • H. Du, Data Mining Techniques and Applications: An Introduction. Cengage Learning EMEA, May 2010, p. 336, ISBN: 978-1844808915 • I. H. Witten, E. Frank, M. A. Hall, et al., Data Mining, Fourth Edition: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 4th. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2016, ISBN: 0128042915

1	Module name 330467	Multimedia Security Multimedia security	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Christian Riess
5	Contents	This lecture covers a variety of security-related topics around multimedia data. In particular, the lecture presents algorithms and key results from the past 15 years in multimedia security, including topics on image forensics, steganography, watermarking, and biometrics. Selected algorithms are implemented and tested by the participants. It is helpful to bring some knowledge in signal processing or pattern recognition. It is also helpful to be not afraid from equations. Tentative list of topics and algorithms: • Image forensics for manipulation detection in digital media. Statistical and physics-based features for manipulation detection. Detecting traces of manipulations versus validating image authenticity. • Blind source attribution: was an image or video captured with a particular camera? • Steganography for covert communication. Fundamental algorithms, when can their application be detected? • Watermarking for copyright protection in images/video. Fundamental algorithms, and their security. • Biometric features for person re-identification, and practical concerns on their implementation.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Verstehen Die Studierenden fassen die wesentlichen Fragestellungen auf dem Gebiet der Multimediasicherheit zusammen (The participants summarize the relevant questions within the field of multimedia security). Die Studierenden nennen und erklären die wesentlichen Fachbegriffe aus den Teilgebieten der Multimediasicherheit (The participants name and explain relevant terms from the subfields of multimedia security). Evaluieren (Beurteilen) Die Studierenden bewerten die Eignung der vorgestellten bildforensischen Algorithmen für ein gegebenes Untersuchungsszenario (The participants evaluate the suitability of the presented image forensics algorithms for a given examination scenario). Erschaffen Die Studierenden implementieren kurze Beispielsprogramme für ausgewählte Algorithmen der Multimediasicherheit (The participants implement short example programs for selected algorithms of multimedia security). Lern- bzw. Methodenkompetenz

		Die Studierenden implementieren ausgewählte Methoden in der Programmiersprache C++ (The participants implement selected methods in the C++ programming language). Sozialkompetenz Die Studierenden implementieren und diskutieren Beispielsmethoden in Gruppenarbeit (The participants implement and discuss the example method in groups). Die Studierenden diskutieren die gesellschaftlichen Auswirkung von Multimediasicherheit am Beispiel aktueller Probleme (The participants discuss multimedia security's impact on society using current issues).
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	begleitend zu der Veranstaltung: - Husrev Sencar, Nasir Memon (Editors): "Digital Image Forensics. There is More to a Picture than Meets the Eye", Springer 2013. - Hany Farid: "Photo Forensics", MIT Press, 2016.

1	Module name 96312	Bild-, Video- und mehrdimensionale Signalverarbeitung Image, video and multidimensional signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	• ◦ Histogrammausgleich, Gamma-Korrektur • ◦ Morphologische Filter, Erosion, Dilatation, Opening, Closing • ◦ Trichromat, RGB- Farbraum, HSV-Farbraum • ◦ Theorie mehrdimensionaler Signale und Systeme, Impulsantwort, lineare Bildfilterung, Leistungsspektrum, Wiener Filter • ◦ Bilineare Interpolation, Bicubische Interpolation, Spline Interpolation • ◦ Bildmerkmale, Kantendetektion, Hough Transformation, Harris Ecken Detektor, Texturmerkmale, Grauwertematrix • ◦ LoG, DoG, SIFT, SURF • ◦ Projektive Abbildungen, Blockabgleich, Optischer Fluss, Merkmalsbasierter Abgleich mittels SIFT und SURF, RANSAC • ◦ Amplituden Schwellenwertermittlung, K-Means Clustering, Bayes Klassifikation, Regionen-basierte Segmentierung, kombinierte Segmentierung und Bewegungsschätzung, zeitliche Segmentierung von Videos • ◦ Unitäre Transformation, Karhunen-Loeve Transformation, separable Transformationen, Haar und Hadamard Transformation, DFT, DCT
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen Punktoperationen an Bilddaten und Gamma-Korrektur • testen die Wirkung von Rangordnungs- und Medianfiltern an Bilddaten • unterscheiden und bewerten verschiedene Farbräume für Bilddaten

		• erklären das Prinzip der zwei-dimensionalen linearen Filterung für Bildsignale • berechnen und bewerten die zweidimensionale diskrete Fourier-Transformierte eines Bildsignales • bestimmen vergrößerte diskrete Bildsignale mit Methoden der bilinearen und Spline-Interpolation • überprüfen Bilddaten auf ausgewählte Textur-, Kanten- und Bewegungsmerkmale • analysieren Bild- und Videodaten auf Merkmale in unterschiedlichen Scale-Spaces • erläutern und beurteilen Methoden für das Matching von Bilddaten • segmentieren Bilddaten durch Programmierung von einfachen Klassifikations- oder Clustering-Verfahren • verstehen das Prinzip von Transformation auf Bilddaten und können diese an Beispielen anwenden.
7	Prerequisites	Vorlesung Signale und Systeme I und II empfohlen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• J.-R. Ohm: [Multimedia Content Analysis], Springer, 2016 • J. W. Woods: [Multidimensional Signal, Image, and Video Processing and Coding], Academic Press, second edition, 2012

1	Module name 66000	Experimentalphysik I Experimental physics for EECE I	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Bernhard Hensel
5	Contents	*Inhaltsangabe für beide Semester* • Physikalische Größen und Messungen • Mechanik: Mechanik von Massenpunkten, Newtonsche Axiome, Energie und Arbeit, Impuls, Teilchensysteme, Drehbewegungen, Mechanik deformierbarer Körper, Fluide • Schwingungen und Wellen • Thermodynamik: Temperatur und der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik, kinetische Gastheorie, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik, Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik, Wärmeübertragung • Optik: Eigenschaften des Lichts, Geometrische Optik, Interferenz und Beugung • Auswahl von Themen der Modernen Physik: Quantenmechanik und Atomphysik, Kernphysik, Physik der kondensierten Materie
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erklären die Grundlagen der Experimentalphysik aus den Bereichen der Mechanik, Schwingungen und Wellen, Thermodynamik, Optik sowie von ausgewählten Themen der Modernen Physik • setzen die Vorlesungsinhalte mit Hilfe thematisch passender Übungsaufgaben praktisch um.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (90 minutes)
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	P.A. Tipler, "Physik", Spektrum Akad. Verlag

	D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, "Physik", Wiley-VCH F. Kuypers, "Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler", Wiley-VCH D. Mills, "Bachelor-Trainer Physik" Spektrum Akad. Verlag

1	Module name 66010	Experimentalphysik II Experimental physics for EECE II	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Experimentalphysik für Medizin- und Elektrotechniker II (3 SWS) Übung: Übungen zu Experimentalphysik für Medizin- und Elektrotechniker II	4 ECTS -
3	Lecturers	Dr. Kay Graf	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Bernhard Hensel apl. Prof. Dr. Jürgen Ristein
5	Contents	*Inhaltsangabe für beide Semester* • Physikalische Größen und Messungen • Mechanik: Mechanik von Massenpunkten, Newtonsche Axiome, Energie und Arbeit, Impuls, Teilchensysteme, Drehbewegungen, Mechanik deformierbarer Körper, Fluide • Schwingungen und Wellen • Thermodynamik: Temperatur und der Nullte Hauptsatz der Thermodynamik, kinetische Gastheorie, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik, Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik, Wärmeübertragung • Optik: Eigenschaften des Lichts, Geometrische Optik, Interferenz und Beugung • Auswahl von Themen der Modernen Physik: Quantenmechanik und Atomphysik, Kernphysik, Physik der kondensierten Materie
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erklären die Grundlagen der Experimentalphysik aus den Bereichen der Mechanik, Schwingungen und Wellen, Thermodynamik, Optik sowie von ausgewählten Themen der Modernen Physik • setzen die Vorlesungsinhalte mit Hilfe thematisch passender Übungsaufgaben praktisch um.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (90 minutes)
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german

16	Bibliography	P.A. Tipler, "Physik", Spektrum Akad. Verlag D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, "Physik", Wiley-VCH F. Kuypers, "Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler", Wiley-VCH D. Mills, "Bachelor-Trainer Physik" Spektrum Akad. Verlag

1	Module name 96316	Radar, RFID and Wireless Sensor Systems (RWS) Radar, RFID and wireless sensor systems (RWS)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Radar, RFID and Wireless Sensor Systems Exercises (2 SWS) Vorlesung: Radar, RFID and Wireless Sensor Systems (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Christian Carlowitz Prof. Dr.-Ing. Martin Vossiek	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Martin Vossiek
5	Contents	Radar, RFID and wireless sensor and wireless locating systems are essential for automotive advanced driver-assistance systems (ADAS), autonomous driving and flying, robotics, industrial automation, logistics and novel human machine interfaces. Further key areas include medical electronics, building technology and cyber-physical systems. The module "Radar, RFID and Wireless Sensors" is an introduction into functional principles, building blocks, hardware and signal processing concepts and applications of modern radar, RFID, wireless sensor and real time locating systems. Covered applications include automotive radar, road and air traffic control systems, as well as robotics, industrial automation and medical technology. RWS is an identical replacement of the former module "Drahtlose Sensoren, Radar- und RFID-Systeme DSR.
6	Learning objectives and skills	The students • learn about the setup, function and application of wireless sensors, Radar and RFID-systems • can analyze, discuss and implement basic components and system structures, signal theory, data processing and use cases • can determine the underlying physical limitations and sources of errors • are able to analyze and create system specifications and can compare and rate the usability of wireless esnsors, Radar and RFID-systems • can create and define independently applications and system designs of RWSs
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written (90 minutes)
11	Grading procedure	Written (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Sensors for Ranging and Imaging", Graham Brooker, Scitech Publishing Inc., 2009 Radar mit realer und synthetischer Apertur", H. Klausing, W. Holpp, Oldenbourg, 1999 Praxiswissen Radar und Radarsignalverarbeitung" Albrecht K. Ludloff, 2008 "RFID at ultra and super high frequencies: theory and application Dominique Paret, John Wiley & Sons, 2009. RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC", Klaus Finkenzeller, Carl Hanser Verlag, 6. Auflage 2012.

1	Module name 43722	Scientific Visualization Scientific visualization	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Tutorials to Scientific Visualization (2 SWS) Vorlesung: Scientific Visualization (2 SWS)	0 ECTS 5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Tobias Günther Xingze Tian	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Tobias Günther
5	Contents	The amount of data, generated in the pursuit of scientific discovery, keeps rapidly increasing across all major scientific disciplines. How can we make sense of large, time-dependent, high-dimensional and multi-variate data? This lecture provides an introduction into scientific visualization. Throughout the course, we cover the fundamental perception basics needed to convey information accurately. After categorizing different data types based on their dimensionality, we dive deeper into specific techniques for scalar, vector and tensor valued data. The lecture covers the following topics: • visualization design basics (data abstraction, visual encoding of information), • a review of scalar and vector calculus (differential properties, extremal and critical points), • data structures and data acquisition techniques (grids, interpolation, and differentiation), • indirect volume visualization (marching cubes and contour trees), • direct volume visualization (ray marching and Monte Carlo rendering), • elementary and line-based flow visualization (numerical integration, seeding, rendering), • surface-based flow visualization (integration, selection, rendering), • topology-based flow visualization (topological skeleton, bifurcations, feature flow fields), • feature-based flow visualization (vortices, material boundaries, Lagrangian coherent structures), • advanced methods (tensor visualization, uncertainty, ensembles)
6	Learning objectives and skills	Students are able to: • use perception basics to select appropriate visualization methods • classify data and select appropriate visualization techniques • calculate differential properties of scalar and vector fields • identify features in scalar and vector-valued data • implement numerical extraction algorithms • learn the advantages and disadvantages of common visualization techniques

7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Electronic exam in presence with multiple choice questions (90 minutes)
11	Grading procedure	Variable (100%) The final grade of the module is determined by the exam. Exercise bonus: Obtaining more than 80% of the points across all theoretical exercises awards an exam bonus of a third grade.
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 645618	Human Computer Interaction Human computer interaction	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Human Computer Interaction Exercises (1 SWS) Vorlesung: Human Computer Interaction (3 SWS)	1,25 ECTS 3,75 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Björn Eskofier Ann-Kristin Seifer Syrine Slim Madeleine Flaucher Björn Nieth	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Björn Eskofier Madeleine Flaucher
5	Contents	Das Modul vermittelt Konzepte, Prinzipien, Modelle, Methoden und Techniken für die effektive Entwicklung von benutzerfreundlichen Mensch-Computer-Schnittstellen. Das Thema moderner Benutzungsschnittstellen wird dabei für klassische Computer aber auch für mobile Geräte, eingebettete Systeme, Automobile und intelligente Umgebungen betrachtet. Die folgenden Themen werden im Modul behandelt: • Einführung in die Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion, historische Entwicklung • Entwurfsprinzipien und Modelle für moderne Benutzungsschnittstellen und interaktive Systeme • Informationsverarbeitung des Menschen, Wahrnehmung, Motorik, Eigenschaften und Fähigkeiten des Benutzers • Interaktionskonzepte und -stile, Metaphern, Normen, Regeln und Style Guides • Ein- und Ausgabegeräte, Entwurfsraum für interaktive Systeme • Analyse-, Entwurfs- und Entwicklungsmethoden und -werkzeuge für Benutzungsschnittstellen • Prototypische Realisierung und Implementierung von interaktiven Systemen, Werkzeuge • Architekturen für interaktive Systeme, User Interface Toolkits und Komponenten • Akzeptanz, Evaluationsmethoden und Qualitätssicherung Contents: The module aims to teach basic knowledge of concepts, principles, models, methods and techniques for developing highly user-friendly Human-Computer Interfaces. Beyond traditional computer systems, modern user interfaces are also discussed in the context of automobile and intelligent environments, mobile devices and embedded systems. This module addresses the following topics: • Introduction to the basics of Human-Computer Interaction

		• Design principles and models for modern user interfaces and interactive systems • Information processing of humans, perception, motor skills, properties and skills of the users • Interaction concepts, metaphors, standards, norms and style guides • In- and output devices, design space for interactive systems • Analysis-, design- and development of methodologies and tools for easy-to-use user interfaces • Prototypic implementation of interactive systems • Architectures for interactive systems, User Interface Toolkits and components • Acceptance, evaluation methods and quality assurance
6	Learning objectives and skills	• Studierende entwickeln ein Verständnis für Modelle, Methoden und Konzepte der Mensch-Computer-Interaktion. • Sie lernen verschiedene Ansätze für den Entwurf, die Entwicklung und Bewertung von Benutzungsschnittstellen kennen und verstehen deren Vor- und Nachteile. • Die Teilnahme an der Veranstaltung versetzt Studierende in die Lage, einen Entwicklungsprozess in der Mensch-Computer-Interaktion zu verstehen und umzusetzen. • Sie werden weiterhin in die Lage versetzt, dies vor dem Hintergrund der Informationsverarbeitungsfähigkeit, Wahrnehmung und Motorik des Benutzers zu gestalten. • Passende Methoden der Evaluation sowie Akzeptanz- und Qualitätssicherung werden erlernt. Learning Objectives and Competences: • Students develop an understanding of models, methods and concepts in the field of Human-Computer Interaction. • They learn different approaches for designing, developing and evaluating User Interfaces and their advantages and disadvantages. • Joining the course enables students to understand and execute a development process in Human-Computer Interaction. • Students will be able to do a UI evaluation by learning the basics of information processing, perception and motoric skills of the user. • Appropriate evaluation methods, as well as acceptance and quality assurance aspects, will be learned.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination Electronic exam (in presence), 90min

11	Grading procedure	Electronic examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 43405	Introduction to Deep Learning Introduction to deep learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	The students will learn the basics in <i>deep learning</i>, including classical neural network models and recent architectures. The students will acquire knowledge on processing different types of data with deep neural networks. In the exercises, the students will implement some of the standard models for classification or regression tasks and acquire knowledge on machine learning applications. The lecture topics include: • Learning from data, machine learning and deep learning • Machine learning principles • Artificial neural networks • Convolutional neural networks • Back-propagation • Network optimization • Initialisation, regularisation • Deep network architectures • Generative models • Auto-encoders • Sequential models • Deep learning applications
6	Learning objectives and skills	The students will learn: • Machine learning theory • Artificial neural networks • Deep neural networks • Modern architectures • Model and parameter learning
7	Prerequisites	Basic knowledge of higher mathematics and programming
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h	
14	Module duration	1 semester	
15	Teaching and examination language	english	
16	Bibliography		• Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning. • Rojas, R. (2013). Neural networks: a systematic introduction. • Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2001). The elements of statistical learning.

1	Module name 44130	Pattern Recognition Pattern recognition	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Mathematical foundations of machine learning based on the following classification methods: • Bayesian classifier • Logistic Regression • Naive Bayes classifier • Discriminant Analysis • norms and norm dependent linear regression • Rosenblatt's Perceptron • unconstraint and constraint optimization • Support Vector Machines (SVM) • kernel methods • Expectation Maximization (EM) Algorithm and Gaussian Mixture Models (GMMs) • Independent Component Analysis (ICA) • Model Assessment • AdaBoost Mathematische Grundlagen der maschinellen Klassifikation am Beispiel folgender Klassifikatoren: • Bayes-Klassifikator • Logistische Regression • Naiver Bayes-Klassifikator • Diskriminanzanalyse • Normen und normabhängige Regression • Rosenblatts Perzeptron • Optimierung ohne und mit Nebenbedingungen • Support Vector Maschines (SVM) • Kernelmethoden • Expectation Maximization (EM)-Algorithmus und Gaußsche Mischverteilungen (GMMs) • Analyse durch unabhängige Komponenten • Modellbewertung • AdaBoost
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Struktur von Systemen zur maschinellen Klassifikation einfacher Muster • erläutern die mathematischen Grundlagen ausgewählter maschineller Klassifikatoren • wenden Klassifikatoren zur Lösung konkreter Klassifikationsproblem an

		• beurteilen unterschiedliche Klassifikatoren in Bezug auf ihre Eignung • verstehen in der Programmiersprache Python geschriebene Lösungen von Klassifikationsproblemen und Implementierungen von Klassifikatoren Students • understand the structure of machine learning systems for simple patterns • explain the mathematical foundations of selected machine learning techniques • apply classification techniques in order to solve given classification tasks • evaluate various classifiers with respect to their suitability to solve the given problem • understand solutions of classification problems and implementations of classifiers written in the programming language Python
7	Prerequisites	• Well grounded in probability calculus, linear algebra/matrix calculus • The attendance of our bachelor course 'Introduction to Pattern Recognition' is not required but certainly helpful. • Gute Kenntnisse in Wahrscheinlichkeitsrechnung und Linearer Algebra/Matrizenrechnung • Der Besuch der Bachelor-Vorlesung 'Introduction to Pattern Recognition' ist zwar keine Voraussetzung, aber sicherlich von Vorteil.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english english

16	Bibliography	• Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stock: Pattern Classification, 2nd edition, John Wiley&Sons, New York, 2001 • Trevor Hastie, Robert Tibshirani, Jerome Friedman: The Elements of Statistical Learning - Data Mining, Inference, and Prediction, 2nd edition, Springer, New York, 2009 • Christopher M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, New York, 2006

1	Module name 451696	Cyber-Physical Systems Cyber-physical systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Cyber-Physical Systems (2 SWS) Übung: Übung zu Cyber-Physical Systems (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Torsten Klie	

4	Module coordinator	Joachim Falk Dr.-Ing. Torsten Klie
5	Contents	Klassische Computersysteme zeichnen sich durch eine strikte Trennung von realer und virtueller Welt aus. Moderne Steuerungssysteme, die z.B. in modernen Fahrzeugen verbaut sind und die aus einer Vielzahl von Sensoren und Aktoren bestehen, entsprechen diesem Bild nur sehr eingeschränkt. Diese Systeme, oft "Cyber-Physical Systems (CPS)" genannt, erkennen ihre physische Umgebung, verarbeiten diese Informationen und können die physische Umwelt auch koordiniert beeinflussen. Hierzu ist eine starke Kopplung von physischem Anwendungsmodell und dem Computer-Steuerungsmodell nötig. Im Unterschied zu Eingebetteten Systemen bestehen CPS meist aus vielen vernetzten Komponenten, die sich selbständig untereinander koordinieren. Diese Vorlesung spannt den Bogen von kontrolltheoretischen Grundlagen über Selbstorganisationsprinzipien bis hin zu visionären Anwendungen aus den Bereichen Verkehr und Medizintechnik. Ferner werden Entwurfsmethoden für Cyber-Physical Systems vorgestellt.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erläutern, was Cyber-Physical Systems sind und auf welchen technologischen Grundlagen sie aufbauen, insbesondere in den Bereichen Regelungstechnik, Ablaufplanung, Kommunikation und Selbstorganisation bewerten CPS in verschiedenen Anwendungsgebieten stellen den Entwurfsprozess von CPS dar, insbesondere die Modellierung und die grundlegende Programmierung entdecken wesentliche Herausforderungen beim Entwurf, Ausbringung und Einsatz von CPS.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio schriftlich (Klausur, 90 Minuten)
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: • Andrea Bondavalli, Sara Bouchenak und Hermann Kopetz (Hrsg.) Cyber-Physical Systems of Systems: Foundations – A Conceptual Model and Some Derivations: The AMADEOS Legacy. Springer 2016. • Otto Föllinger Regelungstechnik. Hüthig 1992. • Hilmar Jaschek und Holger Voos Grundkurs der Regelungstechnik. Oldenbourg 2010. • Jörg Kahlert Crash-Kurs Regelungstechnik. VDE Verlag 2010. • Peter Marwedel Embedded Systems Design – Embedded Systems Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things, 4. Auflage. Springer 2021 • André Platzner Logic Foundations of Cyber-physical Systems. Springer 2018. • Wolfgang Schneider Praktische Regelungstechnik. Vieweg +Teubner 2008. • Walid M. Taha, Abd-Ehamid M. Taha und Johan Thunberg Cyber-physical Systems – A Model-based Approach. Springer 2021. Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/cyber-physical-systems/

1	Module name 947709	Auditory Models Auditory models	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Auditory Models (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler
5	Contents	• Main components of the human auditory system • Common models • Mechanical models • Physiological models • Psychoacoustic models • Applications (hearing aids, audio coding, . . .)
6	Learning objectives and skills	Goals • Students understand the structure and function of the human auditory system • Students gain deeper insight into psychoacoustic phenomena, such as masking, directional and spatial hearing • Students implement and evaluate perceptual models for various applications • Students collaborate with scientists in the fields of audiology and neuroscience
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The form of examination is an oral exam of 30 minutes.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 43955	Communication Systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Aus Rechnerkommunikation ist der grundlegende Aufbau von IP-basierten Netzen bekannt, Inhalt von Kommunikationssysteme sind weitere Netztechnologien wie Leitungsvermittlung (Telefonnetze, Sonet/ SDH/WDM) und Netze mit virtueller Leitungsvermittlung (ATM, MPLS) sowie Netzwerkvirtualisierung (SDN, NFV), Multimediakommunikation über paketvermittelte Netze (Streaming, RTP, SIP, Multicast), Dienstgüte in paketvermittelten Netzen (Integrated Services, RSVP, Differentiated Services, Active Queue Management, Policing, Scheduling), drahtlose und mobile Kommunikation (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, ZigBee u.a. Sensornetze). Auch Kommunikation in der Industrie wird behandelt. In der Übung werden praktische Aufgaben im Labor durchgeführt: ein Labor enthält mehrere IP-Router, Switches und Rechner, IP-Telefone und Telefonie-Software für VoIP, es werden verschiedene Konfigurationen eingestellt und getestet. Ein weiterer Übungsteil beschäftigt sich mit Mobilkommunikation. *Contents:* Based on the course computer communications the architecture of IP networks is known. Contents of this course will be additional networking technologies such as circuit switching (telephony, SONET/ SDH/WDM) and networks with virtual circuit switching (ATM, MPLS) as well as network virtualization (SDN, NFV), multimedia communications over packet switched networks (streaming, RTP, SIP, multicast), quality-of-service in packet switched networks (integrated services, RSVP, differentiated services, active queue management, policing, scheduling), wireless and mobile communications (GSM, UMTS, LTE, 5G, Wimax, WLAN, Bluetooth, sensor networks such as ZigBee). Industrial communication will also be a topic. In the tutorial practical tasks are performed in the laboratory: One laboratory contains several IP routers, switches and computers, IP phones and VoIP telephone software. Various configurations are set up and tested. Another part of the tutorial deals with mobile communications.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Kenntnisse über Technologien bei der Leitungs- und Paketvermittlung in leitungsgebundenen und drahtlosen/mobilen Netzen Kenntnisse über die Grundlagen von Dienstgütemechanismen in paketvermittelten Netzen praktische Erfahrung in der Konfiguration eines IP-Switch-Router-Netzes mit Multimediaverkehr Students obtain the following learning targets and competences

		Knowledge of technologies in circuit and packet switching in wired and wireless/mobile networks Knowledge of the foundations of quality of service mechanisms in packet switched networks Practical experience in configuring an IP switch router network with multimedia traffic
7	Prerequisites	Basic knowledge of working with the Linux command line interface (terminal).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral Course achievement Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%) Course achievement (pass/fail) Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7th Ed., Pearson Education, 2017 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pear-son Education, 2016 Cox. An Introduction to LTE. Wiley, 2012

1	Module name 299892	Informationsvisualisierung Information visualization	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Informationsvisualisierung (2 SWS) Übung: Übung zur Informationsvisualisierung (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr. Roberto Grosso	

4	Module coordinator	Dr. Roberto Grosso
5	Contents	Aufgrund der rasanten Entwicklung der Informationstechnologie sind wir mit einer noch nie dagewesenen Flut an Daten konfrontiert. Informationsvisualisierung befasst sich mit der graphischen Darstellung abstrakter Daten, die keine räumliche Struktur aufweisen. Die Visualisierung abstrakter Daten nutzt visuelle Metaphern und Interaktion, um Information aus den Daten zu extrahieren. Typische Anwendungsszenarien sind die Analyse von Finanztransaktionen oder sozialen Netzwerken, Geographie, Textanalyse oder Visualisierung von Software-Quellcode. In dieser Vorlesung werden unterschiedliche Techniken vorgestellt, um verschieden Arten von Daten zu visualisieren. Insbesondere werden folgende Themen behandelt: • Graphen und Netzwerke • Dynamische Graphen • Hierarchien und Bäume • Multivariate Daten • Time-Series Daten • Textvisualisierung
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden Wissen • zählen Datentypen der Informationsvisualisierung auf • nennen Techniken zur Visualisierung unterschiedlicher Datentypen der Informationsvisualisierung • beschreiben Anwendungsfällen für die unterschiedlichen Datentypen der Informationsvisualisierung Verstehen • stellen Algorithmen der Informationsvisualisierung dar und erläutern ihre Eigenschaften, Vorteile und Nachteile • illustrieren Techniken zu Auswertung und Analyse von Daten der Informationsvisualisierung • implementieren die vorgestellten Algorithmen in JavaScript Anwenden • wenden Algorithmen zur Visualisierung unterschiedlichen Daten an • erklären und charakterisieren Techniken der Informationsvisualisierung • Analysieren • klassifizieren Algorithmen zur Visualisierung multivariater Daten, Netzwerke, Hierarchien und Text und erklären ihrer Funktionsweise

		• erkunden die Effizienz der vorgestellten Algorithmen für unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten Evaluieren • bewerten Anwendbarkeit und Performance spezieller Algorithmen der Informationsvisualisierung • vergleichen Methoden zur Analyse und Auswertung von Daten der Informationsvisualisierung • überprüfen die Anwendbarkeit der diskutierten Techniken für unterschiedliche, speziell ausgewählten Fälle
7	Prerequisites	Die Programmieraufgaben werden in JavaScript implementiert.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination with multiple choice (90 minutes)
11	Grading procedure	Electronic examination with multiple choice (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Information Visualization • Robert Spence: Information Visualization: Design for Interaction • Stuart K. Card, Jock Mackinlay, Ben Shneiderman: Readings in Information Visualization – Using Vision to Think • Benjamin B. Bederson, Ben Shneiderman: The Craft of Information Visualization – Readings and Reflections • Tamara Munzner: Visualization Analysis and Design • Colin Ware: Information Visualization, Perception for Design (third edition) • Ricardo Mazza: Introduction to Information Visualization • Robert Spence: Information Visualization - An Introduction Networks / Graphs • ◦ Graph Theory, Reinhard Diestel ◦ Graphentheorie, Peter Tittmann ◦ Graphs, Networks and Algorithms, Dieter Jungnickel • ◦ Networks, 2nd Edition, Mark Newman

		◦ Graph Theory and Complex Networks: An Introduction, Maarten van Steen

1	Module name 172338	Security in Embedded Hardware Security in embedded hardware	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Security in Embedded Hardware (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Stefan Wildermann	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Der Schutz eingebetteter Systeme gegenüber Angriffe Dritter auf gespeicherte Daten und Implementierungen, stellt eine immer wichtigere, jedoch auch durch zunehmende Vernetzung herausfordernde Aufgabe dar. Der Schutz der eingebetteten Systeme gegenüber bekannten als auch neueren ausgeklügelten Angriffsmöglichkeiten ist Gegenstand dieser Vorlesung. Es wird gezeigt, welche Angriffe existieren, welche Gegenmaßnahmen man ergreifen kann und wie man sichere eingebettete Systeme entwirft. Einleitung und Motivation • Was ist Security? • Die Bedeutung von Security für zuverlässige Systeme • Klassifikation von Angriffen • Entwurf eingebetteter Systeme Angriffsszenarien • Beispiele von Angriffsszenarien • Kryptographischer Algorithmen als Ziel von Angriffen Angriffe durch Einschleusen von Code (Code Injection Attacks) • Welche Arten von Code Injection-Angriffe gibt es? • Gegenmaßnahmen Invasive physikalische Angriffe (Invasive Physical Attacks) • Microprobing • Reverse Engineering • Differential Fault Analysis • Gegenmaßnahmen Nichtinvasive softwarebasierte Angriffe (Non-Invasive Logical Attacks) • Erlangen von nicht autorisiertem Zugriff • Gegenmaßnahmen Nichtinvasive physikalische Angriffe (Non-Invasive Physical Attacks) • Abhören • Seitenkanalangriffe • Gegenmaßnahmen
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen • Die Studierenden legen die entsprechenden Gegenmaßnahmen dar • Die Studierenden nennen verschiedene Sicherheitseinrichtungen und -maßnahmen in eingebetteten Systemen Fachkompetenz - Verstehen • Die Studierenden zeigen den Einfluss von Angriffen und deren Gegenmaßnahmen auf die Verlässlichkeit eines eingebetteten Systems auf

		- Die Studierenden zeigen den zusätzlichen Aufwand (Fläche, Rechenzeit) von Sicherheitseinrichtungen auf Fachkompetenz - Analysieren - Die Studierenden klassifizieren verschiedene Angriffstypen auf eingebettete Systeme Sozialkompetenz - Die Studierenden erarbeiten kooperativ in Gruppen Lösungskonzepte und implementieren diese gemeinsam
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Empfohlene Bücher zur Begleitung und Vertiefung: - Catherine H. Gebotys Security in Embedded Devices. Springer 2010. - Benoit Badrignans et al. Security Trends for FPGAs. Springer 2011. - Daniel Ziener Techniques for Increasing Security and Reliability of IP Cores Embedded in FPGA and ASIC Designs. Dr. Hut 2010. Weitere Informationen: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehveranstaltungen/vorlesungen/security-in-embedded-hardware

1	Module name 43195	Reconfigurable Computing Reconfigurable computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Joachim Falk Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Content: Reconfigurable (adaptive) computing is a novel yet important research field investigating the capability of hardware to adapt to changing computational requirements such as emerging standards, late design changes, and even to changing processing requirements arising at run-time. Reconfigurable computing thus benefits from a) the programmability of software similar to the Von Neumann computer and b) the speed and efficiency of parallel hardware execution. The purpose of the course reconfigurable computing is to instruct students about the possibilities and rapidly growing interest in adaptive hardware and corresponding design techniques by providing them the necessary knowledge for understanding and designing reconfigurable hardware systems and studying applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. After a general introduction about benefits and application ranges of reconfigurable (adaptive) computing in contrast to general-purpose and application-specific computing, the following topics will be covered: • Reconfigurable computing systems: Introduction of available technology including fine grained look up table (LUT-) based reconfigurable systems such as field programmable gate arrays (FPGA) as well as newest coarse grained architectures and technology. • Design and implementation: Algorithms and steps (design entry, functional simulation, logic synthesis, technology mapping, place and route, bit stream generation) to implement (map) algorithms to FPGAs. The main focus lies on logic synthesis algorithms for FPGAs, in particular LUT technology mapping. • Temporal partitioning: techniques to reconfigure systems over time. Covered are the problems of mapping large circuits which do not fit one single device. Several temporal partitioning techniques are studied and compared. • Temporal placement: Techniques and algorithms to exploit the possibility of partial and dynamic (run-time) hardware reconfiguration. Here, OS-like services are needed that optimize the allocation and scheduling of modules at run-time. • On-line communication: Modules dynamically placed at run-time on a given device need to communicate as well as transport data off-chip. State-of-the-art techniques are introduced how modules can communicate data at run-time

		including bus-oriented as well as network-on-a-chip (NoC) approaches. • Designing reconfigurable applications on Xilinx Virtex FPGAs: In this part, the generation of partial bitstreams for components to be placed at run-time on Xilinx FPGAs is introduced and discussed including newest available tool flows. • Applications: This section presents applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. It covers the use of reconfigurable systems including rapid prototyping, reconfigurable supercomputers, reconfigurable massively parallel computers and studies important application domains such as distributed arithmetic, signal processing, network packet processing, control design, and cryptography.
6	Learning objectives and skills	Learning objectives and competencies: Domain-specific knowledge • The students know to exploit run-time reconfigurable design methodologies for adaptive applications. Domain-specific comprehension • The students understand the mapping steps and optimization algorithms. • The students classify different types and kinds of reconfigurable hardware technologies available today. • The students clarify pros and cons of reconfigurable computing technology. • The students summarize applications benefiting from reconfigurable computing. • The students describe the design of circuits and systems-on-a-chip (SoC) on FPGAs.
7	Prerequisites	Selection of this module prohibits the selection of the modules "Reconfigurable Computing (Lecture with Exercises)", "Reconfigurable Computing (Lecture with Extended Exercises)", or "Reconfigurable Computing with extended exercises" by the student.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Oral exam in case of less than 20 participants (duration 30 mins). Otherwise, written exam (duration 90 mins).
11	Grading procedure	Variable (100%) The exam determines the final grade of the module.
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Further reading material: • The Hamburg VHDL Archive (see Documentation link for free books) http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/research/vlsi/vhdl/index.php • Interactive VHDL Tutorial with 150 examples from ALDEC http://www.aldec.com/downloads/ • Easy FPGA tutorials, projects, and boards http://www.fpga4fun.com • Xilinx WebPack ISE and Modelsim MXE (free FPGA synthesis tool and free VHDL simulator) http://www.xilinx.com/ise/logic_design_prod/webpack.htm • Symphony EDA free VHDL simulator (select FREE Edition license) http://www.symphonyeda.com/products.htm • Icarus open-source Verilog simulator http://www.icarus.com/eda/verilog/ Further information: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/reconfigurable-computing/

1	Module name 64631	Numerik II für Ingenieure Numerics for engineers II	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Num2U (2 SWS) Übung: Übungen zur Numerik II für Ingenieure (2 SWS) Vorlesung: Numerik II für Ingenieure (2 SWS)	- - -
3	Lecturers	Dr. Michael Fried	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wilhelm Merz
5	Contents	*Numerik partieller Differentialgleichungen* Finite Differenzenmethode, Stabilität, Konsistenz, Konvergenz, Einführung finite Elementmethode bei elliptischen Problemen, Fehlerschätzer
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erklären verschiedene Diskretisierungsmethoden • beurteilen diese Diskretisierungsmethoden • leiten Finite Elemente Diskretisierungen elliptischer Probleme her • folgern Aussagen anhand grundlegender Beweistechniken aus oben genannten Bereichen • konstruieren Algorithmen zu Finite Elemente Diskretisierungen • erklären Fehlerschätzer
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 4
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skripte des Dozenten H. Jung, M. Langer, Methode der Finiten Elemente, Teubner P. Knabner, L. Angermann, Numerik partieller Differentialgleichungen, Springer

1	Module name 454183	Molecular Communications Molecular communications	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Schober
5	Contents	Conventional communication systems employ electromagnetic waves for information transmission. This approach is suitable for typical macroscopic applications such as mobile communication. However, newly emerging applications in biology, nanotechnology, and medicine require communication between so-called nano-machines (e.g. nano-robots and nano-sensors) with sizes on the order of nano- and micro-meter. For such device sizes electromagnetic waves cannot be used for efficient information transmission. Instead Molecular Communication, an approach that is also widely used in natural biological systems, has to be applied. In Molecular Communication, transmitter and receiver communicate by exchanging information-carrying molecules. The design of molecular communication systems requires a basic understanding of relevant biological processes and systems as well as their communication-theoretical modelling and analysis. The course is structured as follows: 1) Introduction to Molecular Communication; 2) Biological Nano-Machines; 3) Molecular Communication in Biological Systems; 4) Synthetic Molecular Communication Systems; 5) Mathematical Modelling and Simulation; 6) Communication and Information Theory for Molecular Communication; 7) Design of Molecular Communication Systems; 8) Applications for Molecular Communication Systems.
6	Learning objectives and skills	The students are able to design synthetic molecular communication systems. They can explain natural communication processes in biological systems and how to harness these natural processes for the construction of man-made molecular communication systems. The students can also analyse, model, and simulate molecular communication systems.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral The examination is a 30-minute oral exam. The examination language is English.

11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 42800	Advanced Topics in Deep Learning Advanced topics in deep learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Advanced Topics in Deep Learning (4 SWS) Übung: Supplements for Advanced Topics in Deep Learning	5 ECTS -
3	Lecturers	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis Marc Hölle	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	The students will learn advanced deep learning topics, including recent network architectures, generative models, self-supervision, interpretability and explainability. In the exercises, the students will implement advanced models and techniques for classification or regression tasks. The lecture topics include: • Geometric deep learning • Attention and transformers • Unsupervised and self-supervised learning • Generative models • Interpretability • Explainability • Efficient Inference • Uncertainty estimation • Transfer learning and domain adaptation • Few-shot learning <i>Die Studierenden lernen erweiterte Themen des Deep Learning kennen, darunter aktuelle Netzwerkarchitekturen, generative Modelle, Selbst-Überwachung, Interpretierbarkeit und Erklärbarkeit. In den Übungen werden die Studierenden fortgeschrittene Modelle und Techniken für Klassifizierungs- oder Regressionsaufgaben implementieren.</i> <i>Zu den Vorlesungsthemen gehören:</i> • Geometric deep learning • Attention and transformers • Unsupervised and self-supervised learning • Generative models • Interpretability • Explainability • Efficient Inference • Uncertainty estimation • Transfer learning and domain adaptation • Few-shot learning

6	Learning objectives and skills	The students will learn: • State-of-the-art topics in Deep Learning • Recent Neural network architectures • Generative modelling • Lifelong learning approaches • Robustness and reliability in Deep Learning. <i>Die Studierenden lernen:</i> • Neueste Themen im Bereich Deep Learning • Neueste Architekturen neuronaler Netze • Generative Modellierung • Lifelong learning • Robustheit und Zuverlässigkeit beim Deep Learning.
7	Prerequisites	Basic knowledge of machine learning, deep learning, and programming. <i>Grundkenntnisse in Machine Learning, Deep Learning und Programmierung</i>
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Written exam of 90 min duration <i>Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer</i>
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning. • Deisenroth, M. P., Faisal, A. A., & Ong, C. S. (2020). Mathematics for machine learning. Cambridge University Press. • Molnar, C. (2020). Interpretable machine learning. Lulu. com.

1	Module name 44411	Embedded Systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich
5	Contents	Schwerpunkt des Moduls ist der Entwurf und die Implementierung eingebetteter Systeme unter Einsatz formaler Methoden und rechnergestützter Entwurfsverfahren. Unter eingebetteten Systemen versteht man Rechensysteme, die auf einen Anwendungsbereich zugeschnitten (z.B. mobile Kommunikationsgeräte, Chipkartensysteme, Industriesteuerungen, Unterhaltungselektronik, Medizintechnik) und in einen technischen Kontext eingebunden sind. Das große Interesse am systematischen Entwurf von heterogenen eingebetteten Systemen ist verursacht durch die steigende Vielfalt und Komplexität von Anwendungen für eingebettete Systeme, die Notwendigkeit, Entwurfs- und Testkosten zu senken sowie durch Fortschritte in Schlüsseltechnologien (Mikroelektronik, formale Methoden). <i>The focus of this module is the design and implementation of embedded systems using formal methods and computer-aided design techniques. Embedded systems are computing systems tailored for a particular application (e.g., mobile communication devices, smart card systems, industrial control, consumer electronics, medical technology) and integrated into a technical context. The keen interest in the systematic design of heterogeneous embedded systems is driven by the increasing diversity and complexity of embedded system applications, the need to reduce design and test costs, and advances in key technologies (microelectronics, formal methods).</i>
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Wissen - Die Studierenden setzen sich mit einem aktuellen Forschungsgebiet auseinander. The students deal with a current field of research. Fachkompetenz - Verstehen - Die Studierenden verstehen grundlegende Konzepte des Entwurfs eingebetteter Systeme. The students become familiar with the fundamental concepts of designing of embedded systems. Fachkompetenz - Anwenden - Die Studierenden wenden grundlegende Algorithmen an zur Analyse und Optimierung von Hardware-Architekturen und Echtzeit-Softwaresystemen. The students apply basic algorithms to analyze and optimize hardware architectures and real-time software systems.

		Die Studierenden erfassen den Hardware/Software-Entwurf von Systemen mit harten Beschränkungen. The students understand the hardware/software design of hard-constrained systems.
7	Prerequisites	Die Auswahl dieses Moduls schließt die Auswahl der Module „Eingebettete Systeme (Vorlesung mit erweiterten Übungen)“ und „Eingebettete Systeme (Vorlesung mit Übungen)“ aus. <i>Selecting this module excludes the selection of the modules “Embedded Systems (Lecture with Extended Exercises)” and “Embedded Systems (Lecture with Exercises)”.</i> Organisatorisches: - Die Vorlesung erfolgt in deutscher Sprache. Zusätzlich stehen Folien und Vorlesungsaufzeichnungen in englischer Sprache zur Verfügung. - Die Übungen werden sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch angeboten. - Studierende können die Prüfung wahlweise auf Deutsch oder Englisch ablegen. Organizational: - The lecture is given in German. Slides and lecture recordings are also provided in English. - German as well as English exercises are offered. - Students can choose between taking the exam either in German or English.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Empfohlenes Buch zur Begleitung und Vertiefung: Teich J., Haubelt C.: "Digitale Hardware/Software-Systeme: Synthese und Optimierung", Springer-Verlag, 2007, ISBN: 978-3-540-46822-6

		Weitere Informationen:

		https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehveranstaltungen/vorlesungen/eingebettete-systeme/

1	Module name 92731	Communication Electronics	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Kommunikationselektronik (2 SWS) Vorlesung: Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS) Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (2 SWS) Übung: Übung zu Kommunikationselektronik (englisch) (2 SWS)	5 ECTS 5 ECTS - -
3	Lecturers	Sebastian Klob Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert Marcelo Michael	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Jörg Robert
5	Contents	1. Einleitung 2. Darstellung von Signalen und Spektren • Kontinuierliche und diskrete Signale • Spektrum eines Signals • Unterabtastung und Überabtastung 3. Aufbau und Signale eines Software Defined Radio Systems • Blockschaltbild eines Software Defined Radio Systems • Basisband- und Trägersignale • Empfänger-Topologien • Signale in einem Software Defined Radio System 4. Drahtlose Netzwerke 5. Übertragungsstrecke • Funkstrecke • Antennen 6. Leistungsdaten eines Empfängers • Rauschen • Nichtlinearität • Dynamikbereich eines Empfängers 7. Digital Downconverter • CIC-Filter • Polyphasen-FIR-Filter • Halbband-Filterkaskade • Interpolation 8. Demodulation digital modulierter Signale • Einführung • Demodulation einer GFSK/PAM-Paketsendung Das Modul Kommunikationselektronik behandelt Aspekte der Schaltungstechnik und der Signalverarbeitung drahtloser Übertragungssysteme, die als sog. "Software Defined Radio" Systeme aufgebaut sind. Als Beispiel dient der Empfänger eines einfachen Telemetrie-Systems, der von der Antenne bis zum Nutzdatenausgang behandelt wird. Schwerpunkte bilden der Aufbau und die Eigenschaften der Hardware des Empfängers sowie die Algorithmen zum Empfang von Telemetrie-Signalen. Dabei wird ein typisches System mit Hilfe eines miniaturisierten Empfängers und einer Verarbeitung mit dem MATLAB-

		kompatiblen Mathematikprogramm Octave implementiert. Die benötigte Software wird den Studierenden zur Verfügung gestellt. *Content:* 1.Introduction 2.Signal representation and discrete signals - a.Continuous and discrete signals - b.Signal spectrum - c.Downsampling and upsampling 3.Structure and signals of a Software Defined Radio - a.Block diagram of a Software Defined Radio - b.Base band signals and carrier signals - c.Receiver topologies - d.Signals in a Software Defined Radio 4.Wireless networks 5.Transmission path - a.Radio link - b.Antennas 6.Performance data of a receiver - a.Noise - b.Nonlinearities - c.Dynamic range of a receiver 7.Digital Down Converter - a.CIC filter - b.Polyphase FIR filter - c.Halfband filter cascade - d.Interpolation 8.Demodulation of digital modulated signals - a.Introduction - b.Demodulation of a GFSK/PAM packet transmission The module Communication Electronics deals with aspects of circuitry and signal processing of wireless communication systems, built up as so-called "Software Defined Radio systems. A receiver of a simple telemetry system serves as an example, being examined starting from its antenna to the user data output. The focus lies on the structure and the characteristic of the receivers hardware as well as the algorithms for the reception of telemetry signals. A typical system is implemented using a miniaturized receiver and processing with the MATLAB-compatible Octave math program. The required software is provided to the students.
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden verstehen die grundlegende Funktionsweise eines Software Defined Radio (SDR) Systems, d.h. sie verstehen die Funktionsweise der einzelnen Signalverarbeitungsschritte sowie die auftretenden Signale selbst. 2. Die Studierenden analysieren die Leistungsfähigkeit der analogen Komponenten eines SDR Systems und können Verfahren zur Optimierung dieser Komponenten selbständig anwenden. 3. Die Studierenden analysieren die digitalen Verarbeitungsschritte ausgewählter Modulationsarten und können damit selbst die digitale Signalverarbeitung eines SDR Senders und Empfängers erschaffen.

		1. The students will understand the basic operation of a Software Defined Radio (SDR) system, i.e. the students will understand how the individual signal processing steps work as well as the signals themselves. 2. The students analyze the performance of the analog components of an SDR system and are able to apply procedures for optimizing these components independently. 3. The students analyse the digital processing steps of selected modulation types and are able to create the digital signal processing of an SDR transmitter and receiver themselves.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen, grundlegende Kenntnisse im Bereich digitaler Signalverarbeitung werden vorausgesetzt
8	Integration in curriculum	semester: 2;1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Skriptum zur Veranstaltung im StudON verfügbar: https://www.studon.fau.de/studon/goto.php?target=crs_117973

1	Module name 96591	Design of Integrated Circuits I	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler
5	Contents	Es wird in die Grundlagen des integrierten digitalen Schaltungsentwurfes auf Basis von CMOS eingeführt. Ausgehend vom MOS Transistor wird die Complementäre Logik erklärt und auf gängige statische und dynamische Schaltelemente und ihre Erweiterungen auf hochintegrierte Schaltungen bis 0.13µm eingegangen. • Digitaler IC Entwurf für Deep Submicron • MOS Transistor • Herstellung, Layout und Simulation • MOS Inverterschaltung • Statische CMOS Gatter-Schaltungen • Entwurf von Logik mit hoher Schaltrate • Transfer-Gatter und dynamische Logik • Entwurf von Speichern • Zusätzliche Themen des Speicherentwurfs Content It introduces students to the basics of digital integrated circuit design in CMOS. Starting from the MOS transistor, complementary logic is explained. Common static and dynamic switching elements are discussed as well as their extensions to large scale integrated circuits (0.18µm-0.13µm). • Deep Submicron Digital IC Design • MOS Transistor • Fabrication, Layout and Simulation • MOS Inverter Circuits • Static CMOS Gate-Circuits • Design of Logic with High Switching Rate • Transfer-Gates and Dynamic Logic • Design of Memory • Additional Topics of Memory Design
6	Learning objectives and skills	Verstehen • Die Studierenden gewinnen einen Überblick über existierende Integrationstechnologien und Entwurfsmethodiken für Integrierte Schaltungen in 0,18µm und 0,13µm CMOS. Dabei verstehen die Studierenden auch die Zusammenhänge zwischen technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten der Halbleiterfertigung. Evaluieren (Beurteilen) • Die Studierenden analysiert das Verhalten von MOS/CMOS-Transistoren. Daneben können sie verschiedene statische und

		dynamische digitale Schaltungsstrukturen auf Transistorebene bewerten. Learning objectives and competencies: Understand - gain an overview of existing integration technologies and integrated circuit design techniques in CMOS (0.18μm-0.13μm), understanding technical and economic aspects of semiconductor manufacturing. Evaluate (Assess) - Analyze the behavior of MOS / CMOS transistors and evaluate various static and dynamic digital circuit structures at transistor level.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Schwerpunkt Embedded Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 96311	Image and Video Compression Image and video compression	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Image and Video Compression (IVC) (4 SWS) Übung: Übung zu Image and Video Compression	5 ECTS -
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup Anna Meyer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	Multi-Dimensional Sampling - Sampling theorem revisited, 2D sampling, spatiotemporal sampling, motion in 3D sampling Entropy and Lossless Coding - Entropy and information, variable length codes, Huffman coding, unary coding, Golomb coding, arithmetic coding Statistical Dependency - Joint entropy and statistical dependency, run-length coding, fax compression standards Quantization - Rate distortion theory, scalar quantization, Lloyd-Max quantization, entropy coded scalar quantization, embedded quantization, adaptive quantization, vector quantization Predictive Coding - Lossless predictive coding, optimum 2D linear prediction, JPEG-LS lossless compression standard, differential pulse code modulation (DPCM) Transform Coding - Principle of transform coding, orthonormal transforms, Karhunen-Loève transform, discrete cosine transform, bit allocation, compression artifacts Subband Coding - Principle of subband coding, perfect reconstruction property, discrete wavelet transform, bit allocation for subband coding Visual Perception and Color - Anatomy of the human eye, sensitivity of the human eye, color spaces, color sampling formats Image Coding Standards - JPEG and JPEG2000 Interframe Coding - Interframe prediction, motion compensated prediction, motion estimation, motion compensated hybrid coding Video Coding Standards - H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 / H.262, H.264 / MPEG-4 AVC, H.265 / MPEG-H HEVC
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden veranschaulichen die mehrdimensionale Abtastung und den Einfluss darauf durch Bewegung im Videosignal

		• unterscheiden und bewerten verschiedene Verfahren zur verlustfreien Codierung von Bild- und Videodaten • verstehen und analysieren Verbundentropie und statistische Abhängigkeiten in Bild- und Videodaten • berechnen skalare und vektorielle Quantisierer nach unterschiedlichen Optimierungsvorgaben (minimaler mittlerer quadratischer Fehler, entropiecodiert, eingebetteter Quantisierer) • bestimmen und evaluieren optimale ein- und zwei-dimensionale lineare Prädiktoren • wenden Prädiktion und Quantisierung sinnvoll in einem gemeinsamen DPCM-System an • verstehen das Prinzip und die Effekte von Transformations- und Teilbandcodierung für Bilddaten einschließlich optimaler Bitzuteilungen • beschreiben die Grundzüge der menschlichen visuellen Wahrnehmung für Helligkeit und Farbe • analysieren Blockschaltbilder und Wirkungsweisen hybrider Coder und Decoder für Videosignale • kennen die maßgeblichen internationalen Standards aus ITU und MPEG zur Bild- und Videokompression.
7	Prerequisites	Modul "Signale und Systeme II" und das Modul "Nachrichtentechnische Systeme" stark empfohlen.
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Media Processing Systems: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung (Klausur) von 90 min Dauer.
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	J.-R. Ohm: Multimedia Communications Technology, Springer-Verlag, 2004

1	Module name 44362	Quality of Service of Communication Systems Quality of service in communication systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Quality of Service in Communications (2 SWS) Übung: Quality of Service in Communications (Ex-QoSic) (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Reinhard German Anna Arestova	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Zunächst wird der Begriff der Dienstgüte (Quality-of-Service, QoS) eingegrenzt und es werden die wichtigsten Ansätze zur Erzielung von Dienstgüte besprochen und in ausgewählten Netztechnologien untersucht. Dann werden unterschiedliche Methoden vorgestellt, mit denen Systeme bezüglich ihrer Dienstgüte bewertet und ausgelegt werden können: • Netzplanung und optimierung, • stochastische Analyse (Markow-Ketten, Warteschlangen), • Netzwerksimulation, • deterministische Analyse mit Network Calculus zur Ermittlung von Dienstgütegarantien • Messung (HW-, SW-, Hybrid-Monitoring, Benchmarks). Alle Methoden werden an Beispielen demonstriert. *Contents:* We introduce the term quality-of-service (QoS), discuss important approaches to achieve certain degrees of QoS, and show how the implementation in computer networks. Then a number of methodologies to assess and design systems with respect to their QoS: • network planning and optimization, • network simulation, • stochastic analysis (Markov chains, non-Markovian models, queuing systems), • deterministic analysis with network calculus to determine QoS guarantees • measurements (hardware, software, and hybrid monitoring, benchmarks). All methods are illustrated by examples.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erwerben • Kenntnisse in Methoden zur Modellierung und Bewertung von quantitativen, nicht-funktionalen Eigenschaften von vernetzten Systemen • Kenntnisse in Mechanismen von vernetzten Systemen zur Erzielung von Dienstgüte *Learning targets and competences:* The students get • experience in methods to model and evaluate quantitative, non-functional properties of computer networks and related systems

		knowledge of mechanisms of computer networks to achieve quality-of-service
7	Prerequisites	Rechnerkommunikation, Kommunikationssysteme, grundlegende Programmierkenntnisse (optimal in R und C++)
8	Integration in curriculum	semester: 2
9	Module compatibility	Schwerpunkt Networks and Digital Communication: Pflichtmodule Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes)
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	- Kurose, Ross. Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet. 6th Ed., Addison Wesley, 2013 W. Stallings. Data and Computer Communications, 10th ed., Pearson Education, 2014 W. Stallings. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pearson Education, 2016

1	Module name 876012	Verlässliche Echtzeitsysteme (Vorlesung mit Übungen) Dependable real-time systems (lecture with exercises)	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Peter Wägemann
5	Contents	Viele Echtzeitsysteme sind in Bereiche des täglichen Lebens eingebettete, die hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit dieser Systeme stellen. Beispiele hierfür sind Fahrerassistenzsysteme in modernen Automobilen, medizinische Geräte, Prozessanlagen in Kernkraftwerken oder Chemiefabriken oder Flugzeuge. Fehlfunktionen in diesen Anwendungen ziehen mitunter katastrophale Konsequenzen nach sich - Menschen können ernsthaft verletzt oder sogar getötet werden, Landstriche können unbewohnbar gemacht oder zumindest großer finanzieller Schaden verursacht werden. Dieses Modul betrachtet Methoden und Werkzeuge, die uns helfen können, einerseits *zuverlässig Software zu entwickeln* (also Fehler im Programm zu entdecken und zu vermeiden), und andererseits *zuverlässige Software zu entwickeln* (also Abstraktionen, die auch im Fehlerfall ihre Gültigkeit behalten). Hierbei steht weniger die Vermittlung theoretischer Grundkenntnisse auf diesen Gebieten im Vordergrund, also vielmehr • die praktische Anwendung existierende Werkzeuge und Methoden • sowie die Erfahrung und das Verständnis ihrer Grenzen. Auf diese Weise soll ein Fundament für die konstruktive Umsetzung verlässlicher Echtzeitsysteme gelegt werden. Dieses Modul soll daher fundierte Anknüpfungspunkte für die Entwicklung verlässlicher Echtzeitsysteme vermitteln, die Ad-hoc-Techniken möglichst ersetzen sollen.
6	Learning objectives and skills	Studierende, die das Modul erfolgreich abgeschlossen haben: • nennen die Konzepte und die Taxonomie verlässlicher Systeme, unterscheiden Software- und Hardwarefehler und klassifizieren Fehler (Defekt, Fehler, Fehlverhalten). • stellen Fehlerbäume auf. • organisieren Softwareentwicklungsprojekte mittels der Versionsverwaltung git. • vergleichen die verschiedenen Arten der Redundanz als Grundvoraussetzung für Fehlererkennung und -toleranz. • entwickeln fehlertolerante Systeme mittels Replikation. • diskutieren die Fehlerhypothese und die Sicherstellung von Replikdeterminismus. • erläutern die Vor- und Nachteile softwarebasierter Replikation und den Einsatz von Diversität.

- wenden Informationsredundanz zur Härtung von Daten- und Kontrollflüssen an.
- bewerten die Effektivität der arithmetischer Codierung von Programmen und verallgemeinern diesen Ansatz auf die verschiedenen Implementierungsebenen (Maschinenprogramm zu Prozessinkarnation).
- interpretieren den Einfluss der Ausführungsplattform (Hardware, Betriebssystem) auf die Leistungsfähigkeit der Fehlererkennung.
- konzipieren eine fehlertolerante Ausführungsumgebung für ein softwarebasiertes TMR-System basierend auf ANBD-Codierung.
- nennen die Grundlagen der systematischen Fehlerinjektion.
- überprüfen die Wirksamkeit von Fehlertoleranzmechanismen mittels Fehlerinjektion auf der Befehlssatzebene.
- entwickeln Testfälle für die Fehlerinjektion mittels des fail** Werkzeugs.
- setzen Messergebnisse in Relation zu dem tatsächlichen Fehlerraum.
- beschreiben die Grundlagen der Fehlererholung (Vorwärts- bzw. Rückwärtskorrektur) und Reintegration fehlgeschlagener Knoten.
- vergleichen den Zustandstransfer am Beispiel der Running bzw. Recursive State Restoration.
- benennen Konzepte der Rückwärtskorrektur durch Entwurfsalternativen (Recovery Blocks).
- fassen die Grundlagen des dynamischen Testens zusammen.
- unterscheiden Black-Box und White-Box Testverfahren.
- konzipieren und implementieren Testfälle.
- überprüfen die Testüberdeckung anhand grundlegender Überdeckungskriterien (Anweisungs- bis Bedingungsüberdeckung).
- geben die Grundlagen der statischen Programmanalyse wieder.
- nennen die Funktionsweise von Hoare- WP-Kalkül.
- verifizieren eine Ampelsteuerung mittels des FramaC Werkzeugs zur statischen Analyse von C Programmen.
- beschreiben den Korrektheitsnachweis mittels abstrakter Interpretation und unterscheiden die konkrete von der abstrakten Programmsemantik.
- erläutern die Funktionsweise von Sammel- und Präfixsemantiken.
- erstellen einen Korrektheitsbeweis für einen a-b-Filter mittels des Astrée Werkzeugs zur abstrakten Interpretation von C Programmen.
- bewerten die Verlässlichkeit kommerzieller, sicherheitskritischer Systeme anhand von Fallstudien (Sizewell B, Airbus A320).

		• erschließen sich typische Probleme und Fehlerquellen bei der Programmierung von eingebetteten Systemen im Allgemeinen. • klassifizieren Fallstricke und Mehrdeutigkeiten in der Programmiersprache C99 im Besonderen. • können in Gruppen kooperativ und effektiv arbeiten. • können ihre Entwurfs- und Implementierungsentscheidungen kompakt präsentieren und argumentativ vertreten. • reflektieren ihre Entscheidungen kritisch und leiten Alternativen ab. • können offen und konstruktiv mit Schwachpunkten in der Konzeption wie Umsetzung umgehen.
7	Prerequisites	Für eine erfolgreiche Teilnahme an der Veranstaltung sind grundlegende Programmierkenntnisse in C/C++ erforderlich. Diese können durch den (empfohlenen) Besuch entsprechender Grundlagenveranstaltungen oder im Eigenstudium erworben sein. Weiterhin sind grundlegende Kenntnisse über Echtzeitsysteme eine, zum Beispiel durch den Besuch der Veranstaltung "Echtzeitsysteme", empfohlen. Eine formale Voraussetzung besteht in diesem Zusammenhang jedoch nicht.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 96310	Image and Video Compression Image and video compression	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Image and Video Compression (IVC) (4 SWS) Übung: Übung zu Image and Video Compression	5 ECTS -
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup Anna Meyer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	Multi-Dimensional Sampling - Sampling theorem revisited, 2D sampling, spatiotemporal sampling, motion in 3D sampling Entropy and Lossless Coding - Entropy and information, variable length codes, Huffman coding, unary coding, Golomb coding, arithmetic coding Statistical Dependency - Joint entropy and statistical dependency, run-length coding, fax compression standards Quantization - Rate distortion theory, scalar quantization, Lloyd-Max quantization, entropy coded scalar quantization, embedded quantization, adaptive quantization, vector quantization Predictive Coding - Lossless predictive coding, optimum 2D linear prediction, JPEG-LS lossless compression standard, differential pulse code modulation (DPCM) Transform Coding - Principle of transform coding, orthonormal transforms, Karhunen-Loève transform, discrete cosine transform, bit allocation, compression artifacts Subband Coding - Principle of subband coding, perfect reconstruction property, discrete wavelet transform, bit allocation for subband coding Visual Perception and Color - Anatomy of the human eye, sensitivity of the human eye, color spaces, color sampling formats Image Coding Standards - JPEG and JPEG2000 Interframe Coding - Interframe prediction, motion compensated prediction, motion estimation, motion compensated hybrid coding Video Coding Standards - H.261, H.263, MPEG-1, MPEG-2 / H.262, H.264 / MPEG-4 AVC, H.265 / MPEG-H HEVC
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden veranschaulichen die mehrdimensionale Abtastung und den Einfluss darauf durch Bewegung im Videosignal

		• unterscheiden und bewerten verschiedene Verfahren zur verlustfreien Codierung von Bild- und Videodaten • verstehen und analysieren Verbundentropie und statistische Abhängigkeiten in Bild- und Videodaten • berechnen skalare und vektorielle Quantisierer nach unterschiedlichen Optimierungsvorgaben (minimaler mittlerer quadratischer Fehler, entropiecodiert, eingebetteter Quantisierer) • bestimmen und evaluieren optimale ein- und zwei-dimensionale lineare Prädiktoren • wenden Prädiktion und Quantisierung sinnvoll in einem gemeinsamen DPCM-System an • verstehen das Prinzip und die Effekte von Transformations- und Teilbandcodierung für Bilddaten einschließlich optimaler Bitzuteilungen • beschreiben die Grundzüge der menschlichen visuellen Wahrnehmung für Helligkeit und Farbe • analysieren Blockschaltbilder und Wirkungsweisen hybrider Coder und Decoder für Videosignale • kennen die maßgeblichen internationalen Standards aus ITU und MPEG zur Bild- und Videokompression. The students • visualize multi-dimensional sampling and the influence of motion within the video signal • differentiate and evaluate different methods for lossless image and video coding • understand and analyze mutual entropy and statistical dependencies in image and video data • determine scalar and vector quantization for different optimization criteria (minimum mean square error, entropy coding, embedded quantization) • determine and evaluate optimal one-dimensional and two-dimensional linear predictor • apply prediction and quantization for a common DPCM system • understand the principle and effects of transform and subband coding for image data including optimal bit allocation • describe the principles of the human visual system for brightness and color • analyze block diagrams and the functioning of hybrid coders and decoders for video signals • know the prevailing international standards of ITU and MPEG for image and video compression.
7	Prerequisites	Modul Signale und Systeme II" und das Modul Nachrichtentechnische Systeme" dringend empfohlen
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90 min Dauer
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	J.-R. Ohm: Multimedia Communications Technology, Springer-Verlag, 2004

1	Module name 96410	Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik Circuits and Systems of Transmission Techniques	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Übungen zu Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik (2 SWS) Vorlesung: Schaltungen und Systeme der Übertragungstechnik (2 SWS)	- 5 ECTS
3	Lecturers	Maximilian Lübke Victor Shatov Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	
5	Contents	Im Rahmen dieses Modules werden die Grundlagen und technische Ausführung Übertragungstechniken vermittelt. Fokus liegt dabei auf dem Automotivebereich. Elektrofahrzeuge werden nicht nur die heute bereits in der Oberklasse verfügbaren Fahrassistenzsysteme nutzen sondern weitere E-Mobility spezifische Anwendung insbesondere zur Energie- und Reichweitoptimierung. Drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladeeinrichtungen, zwischen Fahrzeugen untereinander, genaue Ortung und Streckenprognose sowie autonomes energiesparendes Fahren mit Radar-Abstandsreglung spielen hier eine wichtige Rolle. In diesem Modul werden diese modernen Entwicklungen adressiert und die dafür notwendigen Grundlagen erarbeitet. Grundlagen: • Funkkanaleigenschaften • Modellierung • Modulation, Codierung, Vielfachzugriff Fahrzeugkommunikationssysteme: • Übertragungssysteme für die Fahrassistenz • Car-to-Car und Car-to-X-Kommunikation • Breitbandige In-Car-Datenübertragung Fahrzeugsensorik: • Fahrzeugortung (lokal und global) • Automobilradar und Umfeldüberwachung • Sensorische Erfassung von Bioparametern im Fahrzeug	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden sind nach der erfolgreichen Teilnahme am Modul in der Lage: Funkkanaleigenschaften und Modelle für spezifische Anwendungs- und Betriebsszenarien anzuwenden Modulationstechniken zu erläutern und zu analysieren Moderne Codierungs- und Vielfachzugriffstechniken zu erläutern Architekturen und Anwendungen von Fahrzeugkommunikationssystemen zu erläutern und zu analysieren Architekturen und Anwendungen von Fahrzeugsensoriksystemen zu erläutern und zu analysieren	
7	Prerequisites	None	
8	Integration in curriculum	semester: 1	

9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written or oral • Sommersemester: schriftliche Klausur (90 min); • Wintersemester: mündliche Prüfung (30 min).
11	Grading procedure	Written or oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 95067	Machine Learning for Engineers I - Introduction to Methods and Tools Machine learning for engineers I - Introduction to methods and tools	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Machine Learning for Engineers I: Introduction to Methods and Tools (4 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Björn Eskofier Thomas Altstidl Prof. Dr. Nico Hanenkamp Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Björn Eskofier
5	Contents	This is an introductory course presenting fundamental algorithms of machine learning (ML) that are typically applied to data science problems. Knowledge is deepened by two practical exercises to gain hands-on experience. The course covers • Introduction to Python programming in the field of data science • Review of typical task domains (such as regression, classification and dimensionality reduction) • Theoretical understanding of widely used machine learning methods (such as linear and logistic regression, support vector machines (SVM), principal component analysis (PCA) and deep neural networks (DNN)) • Practical application of these machine learning methods on engineering problems
6	Learning objectives and skills	After successfully participating in this course, students should be able to • independently recognize the task domain at hand for new applications • select a suitable and promising machine learning methodology based on their known theoretical properties • apply the chosen methodology to the given problem using Python
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination Electronic exam (online), 90min
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 0 h Independent study: 150 h
14	Module duration	1 semester

15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	1) Machine Learning: A Probabilistic Perspective, Kevin Murphy, MIT Press, 2012 2) The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction, Trevor Hastie, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman, Springer, 2009 3) Deep Learning, Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville, MIT Press, 2016

1	Module name 65718	Introduction to Machine Learning Introduction to machine learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Introduction to Machine Learning (2 SWS) Übung: IntroML-Ex (2 SWS) Übung: IntroML-Tut (2 SWS)	5 ECTS 1,25 ECTS -
3	Lecturers	Dr.-Ing. Vincent Christlein Linda-Sophie Schneider	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Das Modul hat zum Ziel, die Studierenden mit dem prinzipiellen Aufbau eines Mustererkennungssystems vertraut zu machen. Es werden die einzelnen Schritte von der Aufnahme der Daten bis hin zur Klassifikation von Mustern erläutert. Das Modul beginnt dabei mit einer kurzen Einführung, bei der auch die verwendete Nomenklatur eingeführt wird. Die Analog-Digital-Wandlung wird vorgestellt, wobei der Schwerpunkt auf deren Auswirkungen auf die weitere Signalanalyse liegt. Im Anschluss werden gebräuchliche Methoden der Vorverarbeitung beschrieben. Ein wesentlicher Bestandteil eines Mustererkennungssystems ist die Merkmalsextraktion. Verschiedene Ansätze zur Merkmalsberechnung/-transformation werden gezeigt, darunter Momente, Hauptkomponentenanalyse und Lineare Diskriminanzanalyse. Darüber hinaus werden Möglichkeiten vorgestellt, Merkmalsrepräsentationen direkt aus den Daten zu lernen. Das Modul schließt mit einer Einführung in die maschinelle Klassifikation. In diesem Kontext wird der Bayes- und der Gauss-Klassifikator besprochen. The module aims to familiarize students with the basic structure of a pattern recognition system. The individual steps from the acquisition of data to the classification of patterns are explained. The module starts with a short introduction, which also introduces the used nomenclature. Analog-to-digital conversion is introduced, with emphasis on its impact on further signal analysis. Common methods of preprocessing are then described. An essential component of a pattern recognition system is feature extraction. Various approaches to feature computation/transformation are demonstrated, including moments, principal component analysis, and linear discriminant analysis. In addition, ways to learn feature representations directly from the data are presented. The module concludes with an introduction to machine classification. In this context, the Bayes and Gauss classifiers are discussed. T
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erklären die Stufen eines allgemeinen Mustererkennungssystems • verstehen Abtastung, das Abtasttheorem und Quantisierung • verstehen und implementieren Histogrammequalisierung und -dehnung

		• vergleichen verschiedene Schwellwertmethoden • verstehen lineare, verschiebungsinvariante Filter und Faltung • wenden verschiedene Tief- und Hochpassfilter sowie nichtlineare Filter an • wenden verschiedene Normierungsmethoden an • verstehen den Fluch der Dimensionalität • erklären verschiedene heuristische Merkmalsberechnungsmethoden, z.B. Projektion auf einen orthogonalen Basisraum, geometrische Momente, Merkmale basierend auf Filterung • verstehen analytische Merkmalsberechnungsmethoden, z.B. Hauptkomponentenanalyse, Lineare Diskriminanzanalyse • verstehen die Basis von Repräsentationslernen • erläutern die Grundlagen der statistischen Klassifikation (Bayes-Klassifikator) • benutzen die Programmiersprache Python, um die vorgestellten Verfahren der Mustererkennung anzuwenden • lernen praktische Anwendungen kennen und wenden die vorgestellten Algorithmen auf konkrete Probleme an The students • explain the stages of a general pattern recognition system • understand sampling, the sampling theorem, and quantization • understand and implement histogram equalization and expansion • compare different thresholding methods • understand linear, shift invariant filters and convolution • apply various low-pass, high-pass, and nonlinear filters • apply different normalization methods • understand the curse of dimensionality • explain different heuristic feature calculation methods, e.g. projection on an orthogonal base space, geometric moments, features based on filtering • understand analytical feature computation methods, e.g. principal component analysis, linear discriminant analysis • understand the basis of representation learning • explain the basics of statistical classification (Bayes classifier) • use the programming language Python to apply the presented pattern recognition methods • learn practical applications and apply the presented algorithms to concrete problems
7	Prerequisites	Ein Mustererkennungssystem besteht aus den folgenden Stufen: Aufnahme von Sensordaten, Vorverarbeitung, Merkmalsextraktion und maschinelle Klassifikation. Dieses Modul beschäftigt sich in erster Linie mit den ersten drei Stufen und schafft damit die Grundlage für weiterführende Module (Pattern Recognition und Pattern Analysis).

		A pattern recognition system consists of the following stages: Sensor Data Acquisition, Preprocessing, Feature Extraction, and Machine Classification. This module primarily deals with the first three stages and thus creates the basis for more advanced modules (Pattern Recognition and Pattern Analysis).
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Vorlesungsfolien/lecture slides • Heinrich Niemann: Klassifikation von Mustern, 2. überarbeitete Auflage, 2003 • Sergios Theodoridis, Konstantinos Koutroumbas: Pattern Recognition, 4. Auflage, Academic Press, Burlington, 2009 • Richard O. Duda, Peter E. Hart, David G. Stock: Pattern Classification, 2. Auflage, John Wiley & Sons, New York, 2001

1	Module name 44455	Speech and Language Processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Speech and Language Understanding (2 SWS) Übung: Speech and Language Understanding Exercises (0 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Alexander Barnhill Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier Abner Hernandez	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Nach Behandlung der grundlegenden Mechanismen menschlicher Spracherzeugung und Sprachwahrnehmung gibt die Vorlesung eine detaillierte Einführung in (vornehmlich) statistisch orientierte Methoden der maschinellen Erkennung gesprochener Sprache. Schwerpunktthemen sind Merkmalsgewinnung, Vektorquantisierung, akustische Sprachmodellierung mit Hilfe von Markovmodellen, linguistische Sprachmodellierung mit Hilfe stochastischer Grammatiken, prosodische Information sowie Suchalgorithmen zur Beschleunigung des Dekodiervorgangs. After focussing on of the basic mechanisms of human speech generation and speech perception the lecture gives a detailed introduction to (mainly) statistically oriented methods of automatic recognition of spoken language. Main topics are feature extraction, vector quantization, acoustic speech modeling with the help of Markov models, linguistic speech modeling with the help of stochastic grammars, prosodic information as well as search algorithms to speed up the decoding process.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Grundlagen der menschlichen Sprachproduktion und die akustischen Eigenschaften unterschiedlicher Phonemklassen • erklären den allgemeinen Aufbau eines Mustererkennungssystems • verstehen Abtastung, das Abtasttheorem und Quantisierung in Bezug auf Sprachsignale • verstehen die Fourier-Transformation und mathematische Modelle der Sprachproduktion • verstehen harte und weiche Vektorquantisierungsmethoden • verstehen unüberwachtes Lernen (EM-Algorithmus) • verstehen Hidden Markov-Modelle (HMMs) • erklären stochastische Sprachmodelle The students • understand the principles of human speech production and acoustic properties of the different phoneme classes • explain the general pipeline of a pattern recognition system

		• understand sampling, the sampling theorem, and quantization w.r.t. speech signals • understand Fourier transformation and mathematical models of speech production • understand hard and soft vector quantization methods • understand unsupervised learning (EM-algorithm) • understand Hidden Markov Models (HMMs) • explain stochastic language models
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Niemann H.: Klassifikation von Mustern; Springer, Berlin 1983 • Niemann H.: Pattern Analysis and Understanding; Springer, Berlin 1990 • Schukat-Talamazzini E.G.: Automatische Spracherkennung; Vieweg, Wiesbaden 1995 • ◦ Rabiner L.R., Juang B.H.: Fundamentals of Speech Recognition; Prentice Hall, New Jersey 1993

1	Module name 93330	Deep Learning for Beginners Deep learning for beginners	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Deep Learning for Beginners (VHB-Kurs) (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Aline Sindel	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Neural networks have had an enormous impact on research in image and signal processing in recent years. In this course, you will learn all the basics about deep learning in order to understand how neural network systems are built. The course is addressed to students who are new to the field. In the beginning of the course, we introduce you to the topic with some applications of deep learning in the field of medical imaging, digital humanities and industry projects. Before we dive into the core elements of neural networks, there are two lecture units on the fundamentals of signal and image processing to teach you relevant parts of system theory such as convolutions, Fourier transform, and sampling theorem. In the next lecture units, you learn the basic blocks of neural networks, such as backpropagation, fully connected layers, convolutional layers, activation functions, loss functions, optimization, and regularization strategies. Then, we look into common practices for training and evaluating neural networks. The next lecture unit is focusing on common neural network architectures, such as LeNet, Alexnet, and VGG. It follows a lecture unit about unsupervised learning that contains the principles of autoencoders and generative adversarial networks. Lastly, we cover some applications of deep learning in segmentation and object detection. The accompanying programming exercises will provide a deeper understanding of the workings and architecture of neural networks, in which you will develop a basic neural network from scratch in pure Python without using deep learning frameworks, such as PyTorch or TensorFlow. At the end of the semester, there will be a written exam.
6	Learning objectives and skills	The students • explain the different neural network components, • compare and analyze methods for optimization and regularization of neural networks, • compare and analyze different CNN architectures, • explain deep learning techniques for unsupervised / semi-supervised and weakly supervised learning, • explain different deep learning applications, • implement the presented methods in Python, • effectively investigate raw data, intermediate results and results of Deep Learning techniques on a computer, • autonomously supplement the mathematical foundations of the presented methods by self-guided study of the literature, • discuss the social impact of applications of deep learning applications.

7	Prerequisites	Requirements: mathematics for engineering, basic knowledge of python
8	Integration in curriculum	semester: 4
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (60 minutes) The final exam is a written exam with 60 minutes duration.
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 0 h Independent study: 75 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 816185	Body Area Communications Body area communications	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	Contents: The Lecture and exercise deals with the following topics: • Introduction to Body Area Communications • Electromagnetic Characteristics of Human Body • Electromagnetic Analysis Methods • Body Area Channel Modeling • Modulation/Demodulation • Body Area Communication Performance • Electromagnetic Compatibility Consideration
6	Learning objectives and skills	Learning objectives • Students understand the challenges in designing Body Area Communication (BAC) systems • Students can conduct basic design decisions with BAC systems, like frequency and modulation selection • Students understand electromagnetic wave propagation in bodies • Students understand the frequency dependent loss and propagation behavior of electromagnetic waves • Students can analyze the communication performance of a BAC system • Students can evaluate Electromagnetic Compatibility of a BAC system • Students can assess the field strength inside body and relate it to regulatory limits like SAR (Specific Absorption rate), frequency dependent maximum electrical and magnetic field strength • Students can sketch block diagrams of BAC systems • Students can derive channel models for BAC
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 48440	Machine Learning in Signal Processing Machine learning in signal processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	This course is an introduction into machine learning and artificial intelligence. The special emphasis is on applications to modern signal processing problems. The course is focused on design principles of machine learning algorithms. The lectures start with a short introduction, where the nomenclature is defined. After this, probabilistic graphical models are introduced and the use of latent variables is discussed, concluding with a discussion of hidden Markov models and Markov fields. The second part of the course is about deep learning and covers the use of deep neural networks for machine learning tasks. In the last part of the lecture, the use of deep neural networks for speech processing tasks is introduced. The course is based on the materials and video footage from Dr. Roland Maas. He is an outstanding machine learning expert and a former member of the Chair of Multimedia Communications and Signal Processing.
6	Learning objectives and skills	After attending the lecture, students will be able to • understand regression and classification problems • apply PDF estimation algorithms • understand Gaussian mixture models and expectation-maximization • apply principal component analysis and independent component analysis • assess different estimation algorithms • explain the application of machine learning to system identification • apply hidden Markov models • understand different artificial neural network architectures • explain deep learning principles • apply artificial neural networks • devise learning strategies for deep neural networks • assess the application of deep neural networks for speech processing tasks.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Embedded Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus EEI im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes) Schriftliche Prüfung von 90min Dauer
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literature: • C. M. Bishop: Pattern Recognition and Machine Learning, http://www.research.microsoft.com/en-us/um/people/cmbishop/PRML • S. Theodoridis and K. Koutroumbas: Pattern Recognition • M. Nielsen: Neural Networks and Deep Learning.

1	Module name 47677	Data Science Survival Skills Data science survival skills	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Andreas Kist
5	Contents	Data Scientists need a comprehensive toolbox for their work. This consists for example of data acquisition, data cleaning, data processing and data visualization. In this course, we highlight good practices and approaches, and provide intensive hands-on experience. In particular, this course covers: - Data handling and storage - Lossy and lossless data compression - Data acquisition and API usage - Data visualization in scientific figures and movies - Data analysis platforms - Multithreading and multiprocessing - Code vectorization and just-in-time compilation - Code profiling - Prototyping Graphical User Interfaces - Workflow optimization techniques
6	Learning objectives and skills	Students - will be able to create own code for working with data - can carry out research projects in data science - can apply code optimization strategies - can design own graphical user interfaces for convenient interaction with data - can produce high-quality data visualization as needed for scientific publications
7	Prerequisites	It is recommended to have prior knowledge of the programming language Python (e.g. through GSProg or SciProgPy) and first exposure to data.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (60 minutes) Compulsory: Written Exam, 60 min Optional: Homework (12-14 units)
11	Grading procedure	Variable (100%) The grade consists of the exam grade to 100%. We grant bonus points according to passed homework units (up to a grade advantage of 0.7, if the exam was passed with at least grade 4.0).
12	Module frequency	Only in winter semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Edward Tufte: The Visual Display of Quantitative Information Cole Nussbaum Knaflitz: Storytelling with data Wes McKinney: Python for Data Analysis: Data Wrangling with Pandas, NumPy, and IPython Gabriele Lanaro: Python High Performance Micha Gorelick, Ian Ozsvald: High Performance Python Alan D Moore: Mastering GUI Programming with Python

1	Module name 47708	Robotics in Surgery and Diagnostics Robotics in surgery and diagnostics	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Robotics in Surgery and Diagnostics (4 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Franziska Mathis-Ullrich Steffen Peikert	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Franziska Mathis-Ullrich
5	Contents	To provide motivation, the various scenarios of robot use in the surgical environment are explained and classified using examples. The fundamentals of robotics are addressed, including different kinematic forms, and key parameters such as degrees of freedom, kinematic chains, workspace, and payload are introduced. This includes the presentation of medically used robots in different size scales, ranging from micro- and nanorobotics to minimally invasive continuum robotics and larger systems for robot-assisted surgery. Next, the different modules of the process chain for robot-assisted surgery are presented. It begins with medical imaging and the various tomographic techniques, explaining their physical principles and their diagnostic information about anatomy and pathology. Medical image processing, with a focus on segmentation, follows. This leads to the geometric 3D reconstruction of anatomical structures, forming the basis for an attributed patient model. The methods for registering preprocessed measurement data from different tomographic modalities are described. The various approaches for modeling tissue parameters complement the discussions, forming a complete patient model. The applications of the patient model in visualization and surgical planning are the next topic. The intraoperative part of the process chain includes registration, navigation, augmented reality, and surgical robotic systems. These are explained with fundamentals and application examples. Key points here include techniques for robot-assisted tissue cutting and approaches to micro- and nanosurgery. Finally, applications of machine learning in medical robotics are discussed. The lecture concludes with a brief discourse on specific safety issues and the legal aspects of medical products.
6	Learning objectives and skills	Students • have a good overview of existing surgical and medical robotic systems in research and practical applications. • understand the specific requirements of surgery for automation with robots. • can recognize basic kinematics and their relevance to medical requirements and applications. • are familiar with basic techniques for processing and using image data from different modalities and can apply them. • can design the complete workflow for a robot-assisted procedure.

7	Prerequisites	Recommended by the lecturer(s): Knowledge on robotics design, robot kinematics
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Written examination; duration 60 minutes
11	Grading procedure	Variable (100%) Written examination 100%
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 47576	Enterprise Application Development und Evolutionäre Informationssysteme eBusiness technologies and evolutionary information systems	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Enterprise Application Development (ehemals eBusiness Technologies) (2 SWS) Vorlesung: Evolutionäre Informationssysteme (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Florian Irmert Nadja Deuerlein Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Richard Lenz
5	Contents	EAD Themen u.a. aus den folgenden Bereichen: • Softwareengineering wie z. B. Design Pattern • Softwarearchitektur wie z. B. Skalierbarkeit, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit • Web Frameworks wie z. B. React • User Experience und Usability wie z. B. UI Guidelines • Agile Softwareentwicklung wie z. B. Scrum • DevOps wie z. B. Continuous Integration EIS: • Grundlagen rechnergestützter Informationssysteme und organisatorisches Lernen • Erfolgsfaktoren für Projekte • Software Wartung vs. Software Evolution • Architekturmodelle • Grundprinzipien evolutionärer Systeme • Datenqualität in Informationssystemen
6	Learning objectives and skills	EAD: Die Studierenden • können einen Überblick über die Entwicklung von Web-Applikationen geben • wiederholen Grundlagen des Webs, von Datenaustauschformaten und serverseitige Technologien • unterscheiden Herangehensweisen zur dynamischen Generierung von Webseiten • wiederholen Grundlagen des SW-Engineerings • verstehen wichtige Design-Patterns • verstehen die Bedeutung von Software-Architektur • verstehen grundlegende Eigenschaften eines Web-Frameworks • können wichtige Zusammenhänge und Kriterien im Bereich UX erläutern • verstehen agile Vorgehensmodelle zur Software-Entwicklung • verstehen die Herausforderungen in Bezug auf den Betrieb von Anwendungen (DevOps)

EIS:

Die Studierenden:

- definieren die Begriffe "Informationssysteme", "evolutionäre Informationssysteme" und "organisatorisches Lernen"
- grenzen die Begriffe "Wissen" und "Information" gegeneinander ab
- charakterisieren die in der Vorlesung erläuterten Formen der organisatorischen Veränderung
- erklären das SEKI Modell nach Nonaka und Takeuchi
- nennen Beispiele für die in der Vorlesung behandelten Formen der Wissensrepräsentation in IT-Systemen
- nennen typische Erfolgs- und Risikofaktoren für große IT-Projekte
- erklären die Kraftfeldtheorie nach Kurt Lewin
- unterscheiden Typen von Software gemäß der Klassifikation nach Lehman und Belady
- unterscheiden die in der Vorlesung vorgestellten Arten der Software Wartung
- benennen die Gesetzmäßigkeiten der Software-Evolution nach Lehman und Belady
- bewerten die in der Vorlesung vorgestellten Vorgehensmodelle zur Softwareerstellung im Kontext der E-Typ-Software
- nennen die in der Vorlesung vorgestellten Aspekte der Evolutionsfähigkeit von Software
- erklären, wie die in der Vorlesung vorgestellten Methoden zur Trennung von Belangen beitragen
- erklären das Konzept des "Verzögerten Entwurfs"
- erklären die Vor- und Nachteile generischer Datenbankschemata am Beispiel von EAV und EAV/CR
- charakterisieren die in der Vorlesung vorgestellten Architekturkonzepte
- grenzen die in der Vorlesung vorgestellten Integrationsanforderungen gegeneinander ab
- erklären wie Standards zur Systemintegration beitragen und wo die Grenzen der Standardisierung liegen
- erklären das Prinzip eines Kommunikationsservers und der nachrichtenbasierten Integration
- erklären den Begriff "Prozessintegration"
- definieren den Begriff "Enterprise Application Integration" (EAI)
- unterscheiden die in der Vorlesung vorgestellten Integrationsansätze
- erklären die in der Vorlesung vorgestellten Dimensionen der Datenqualität
- unterscheiden die grundlegenden Messmethoden für Datenqualität
- erklären das Maßnahmenportfolio zur Verbesserung der Datenqualität nach Redman
- benennen die in der Vorlesung vorgestellten Methoden zur Verbesserung der Datenqualität

7	Prerequisites	Programmieren in Java, Datenbanken (SQL)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	
16	Bibliography	siehe Lehrveranstaltungsbeschreibungen

1	Module name 93069	Cyber Security for Smart Grids	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Abdullah Alshraa Dr.-Ing. Kai-Steffen Hielscher
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Networks and Digital Communication Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	
16	Bibliography	

1	Module name 97640	Laborpraktikum Mobilkommunikation Laboratory course: Mobile communication	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Mobilkommunikation / Lab Course Mobile Communications - Group 1 (3 SWS) Praktikum: Praktikum Mobilkommunikation / Lab Course Mobile Communications - Group 2 (3 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker
5	Contents	Experiments • ◦ Characteristics of real mobile radio channels such as distortions and time variability ◦ models for mobile radio channels ◦ effects on the performance of a mobile radio system • ◦ Principles of different equalization methods ◦ equalizer design for GSM / EDGE ◦ simulation of trellis-based equalizers and visualization of the results • ◦ Principle of OFDM ◦ implementation-relevant aspects such as nonlinearities and peak-to-average-power ratio ◦ synchronization and equalization • MIMO Transmission (2 experiments) Versuche • ◦ Eigenschaften realer Mobilfunkkanäle wie Verzerrungen und Zeitvarianz, ◦ Modelle für Mobilfunkkanäle ◦ Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit eines Mobilfunksystems • ◦ Prinzipien verschiedener Entzerrverfahren ◦ Entzerrerdessign für GSM/EDGE ◦ Simulation von trellisbasierten Entzerrern und Visualisierung der Ergebnisse • ◦ Prinzip von OFDM ◦ implementierungsrelevante Aspekte wie Nichtlinearitäten und Spitzenwertfaktor ◦ Synchronisation und Entzerrung • MIMO Übertragung (2 Versuche)
6	Learning objectives and skills	The students • describe the characteristics of real mobile radio channels,

		• explain the principles of OFDM and MIMO transmission systems, • implement equalization and adaptation procedures in Matlab, • perform radio network simulations, • learn to develop program code, • work together in a small team. Die Studierenden • charakterisieren die Eigenschaften realer Mobilfunkkanäle, • erklären die Funktionsweise von OFDM- und MIMO-Übertragungssystemen, • implementieren Entzerrungs- und Adaptionungsverfahren in Matlab, • führen Funknetzsimulationen durch, • erlernen Programmcode eingeständig zu entwickeln, • arbeiten zielorientiert in einem kleinen Team zusammen.
7	Prerequisites	Vorkenntnisse aus Vorlesungen zu Nachrichtenübertragung (Communications) und Systemtheorie (Signals and Systems); Inhalte des Moduls "Mobile Communications" sind erforderliche Voraussetzung für eine sinnvolle Teilnahme;
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement • There are 8 experiments to be completed as well as an introduction to Matlab. These are described in the course materials. • Each experiment is to be prepared in writing at home. The preparation is checked and evaluated (sufficient/not sufficient) at the beginning of each experiment. • The results of each experiment are to be kept on the experimental computers during the execution of the experiment (programming tasks) and are checked at the end of the experiment (sufficient/not sufficient). Measurement results are to be documented in writing. • To pass the course, 8 sufficient experiment preparations and 8 sufficient experiment executions are required. • Es sind 8 Versuche sowie eine Einführung in Matlab zu absolvieren. Diese sind in den Kursunterlagen beschrieben.

		• Jeder Versuch ist zu Hause schriftlich vorzubereiten. Die Vorbereitung wird zu Beginn eines jeden Versuchs überprüft und bewertet (ausreichend/nicht ausreichend). • Die Ergebnisse eines jeden Versuchs sind während der Versuchsdurchführung auf den Versuchsrechnern vorzuhalten (Programmieraufgaben) und werden zum Abschluss des Versuchs überprüft (ausreichend/nicht ausreichend). Messergebnisse sind schriftlich zu dokumentieren. • Zum Bestehen des Praktikums sind 8 ausreichende Versuchsvorbereitungen und 8 ausreichende Versuchsdurchführungen notwendig.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 35 h Independent study: 40 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Skriptum zum Praktikum Mobilkommunikation

1	Module name 93173	Computational Visual Perception Computational visual perception	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Bernhard Egger Prof. Dr. Andreas Kist Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	How do humans perceive the visual world? How can we build computational models to mimic this human perception? And how can we validate those computational models? This course is designed as an introduction to enable you to build computational models for human visual perception. It will therefore provide an introduction into the human visual system building on the course on cognitive neuroscience for AI developers. You will learn how the human eye and brain process visual input and what we currently know about the ventral visual stream. We will look at computational models for all different levels of visual processing and discuss how well they measure behavioral data. This lecture is designed to be at the intersection of Computer Science (Computer Vision and Graphics) and Cognitive Neuroscience. After an initial introductory phase, you will in small teams (1-3 students) perform a project to build prototypes for computational models for visual processing, reproduce recent scientific results or experiment with existing models. In addition to the project phase we will read and discuss recent research papers studying potential computational models and investigate how we can evaluate computational models. Please sign up via studon
6	Learning objectives and skills	By the end of this course, students will be able to • Describe the basic processing steps of visual input in the human brain • Build a computational model for a known processing step • Read recent papers in the discipline and design a follow-up experiment • Choose/design and conduct a small research project • Choose adequate methods to evaluate a computational model • Work in and manage projects
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 4
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Tutorial achievement Written (60 minutes)

		There are 3 exercises, and participants must pass 2 of them. There is no separate grade for the exercises (only pass/fail).
11	Grading procedure	Tutorial achievement (pass/fail) Written (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 44522	Audio Processing for the Internet of Things Audio processing for the Internet of Things	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Audio Processing for the Internet of Things (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers		

4	Module coordinator	Prof. Dr. Nils Peters
5	Contents	The course focuses on audio and speech processing algorithms within the context of the Internet of Things (IoT). • Foundation (history, components, current challenges) • Overview of relevant wireless protocols (bandwidth, range, latency, spectrum) • Audio device synchronization (NTP, PTP, device orchestration, acoustic wireless sensor networks, asynchronous and event-driven audio sampling) • Acoustic Sensing for Voice User Interfaces (keyword spotting, speech recognition, speaker verification, anti-spoofing) • Acoustic Scene Detection (event detection, scene classification, anomaly detection, sound tagging, blind reverb estimation) • Sound Creation (text-to-speech, sound generative networks) • Data-over-sound (sound-beacon, watermarking, acoustic fingerprint) • Privacy in IoT (edge vs. cloud processing, secure signal processing, federated learning, differential privacy, audio encryption)
6	Learning objectives and skills	The students will be able to • understand the principles, key components, and current in IoT • know the differences between various wireless transmission protocols and can give recommendations based on the IoT use case • understand the differences of edge- and cloud-based audio signal processing • understand algorithmic strategies to enhance privacy in IoT use cases • understand the algorithmic components in a voice user interface • understand state-of-the art methods for detection and classification of acoustic scenes and events • learn and apply algorithms to transmit data via acoustic signals • quantify the impact of latency in audio networks and apply strategies for acoustic device synchronization
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes)
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Recommendations for each topic are given during the lectures

1	Module name 792501	Forensische Informatik Forensic computing (lecture with tutorial)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Übung: Forensische Informatik - Übung (2 SWS) Vorlesung mit Übung: Forensische Informatik (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Maximilian Eichhorn Prof. Dr.-Ing. Felix Freiling	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Felix Freiling
5	Contents	Forensische Informatik befasst sich mit der Sammlung, Aufbereitung und Analyse digitaler Beweismittel zur Verwendung vor Gericht. Ausgangspunkt ist jeweils der Verdacht auf einen Computereinbruch oder eine Straftat, die mit Hilfe von digitalen Geräten vorgenommen worden ist. Dieses Modul gibt einen Überblick über die Methoden der forensischen Informatik aus einer wissenschaftlichen Perspektive. Der Schwerpunkt liegt auf der Analyse von Dateisystemen. Ziel der Lehrveranstaltung ist nicht die Ausbildung von Forensik-Praktikern, sondern die Vermittlung von Kenntnissen, die es einem erlauben, Forschung im Bereich Computerforensik zu betreiben. Im Rahmen der Übung werden die Themen der Vorlesung im Rahmen von Fallstudien praktisch eingeübt. Voraussichtliche Themen: • Definition forensische Informatik • Der forensische Prozess und seine wissenschaftliche Fundierung • Rechtliche Rahmenbedingungen • Sichern von Festplatten • Analyse verschiedener Dateisysteme (FAT32, NTFS, Ext2/Ext3) • Tools
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden können Termini und Methoden der digitalen Forensik in die Entwicklung der forensischen Wissenschaften einordnen. Die Studierenden können die wesentlichen Datenstrukturen verschiedener Dateisysteme erklären. Sie können die für forensische Zwecke wesentlichen Datenstrukturen lokalisieren und geeignete Werkzeuge zu ihrer Analyse auswählen und anwenden. Die Studierenden können digitale Spuren konkreter Fallkonstellationen durch Anwendung von Werkzeugen rekonstruieren, analysieren, interpretieren und dokumentieren. Sie lernen ihre Untersuchungsergebnisse zu präsentieren und gegenüber kritischen Nachfragen zu verteidigen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 3
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222

		Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Oral (30 minutes) Die mündliche Prüfung dauert 30 Minuten.
11	Grading procedure	Oral (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• Brian Carrier: File System Forensic Analysis. Addison-Wesley, 2005. • Eoghan Casey: Digital Evidence and Computer Crime - Forensic Science, Computers and the Internet, 3rd Edition. Academic Press 2011. • Andreas Dewald, Felix Freiling: Forensische Informatik. 3. Auflage, BoD, 2015.

1	Module name 93872	Angewandte Informationssicherheit Applied information security	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Angewandte Informationssicherheit	-
3	Lecturers	Lydia Weinberger Ella Savchenko Prof. Dr. Michael Tielemann	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Michael Tielemann Lydia Weinberger
5	Contents	Informationssicherheit dient dem Schutz vor Gefahren bzw. Bedrohungen, der Vermeidung von wirtschaftlichen Schäden und der Minimierung von Risiken in Bezug auf digital und analog vorliegende Informationen. Die Vorlesung gibt einen einführenden Überblick über Konzepte und Methoden der angewandten Informationssicherheit. Themenschwerpunkte sind (unter anderem): • Risikomanagement • Notfallmanagement Grundlegende Bausteine, relevante Sicherheitsaspekte und mögliche Gefährdungen und Anforderungen an ein Managementsystem zur Informationssicherheit (ISMS), geben u. a. Normen wie z.B. ISO27001 und der BSI Grundschutz vor. In der Übung finden die in der Vorlesung vorgestellten Konzepte und Methoden anhand konkreter Beispiele Anwendung.
6	Learning objectives and skills	Verstehen: Sie sind in der Lage technische wie regulatorische Abhängigkeiten und Zusammenhänge zu erkennen und zu bewerten. Die Grundlagen für eine eigene Klassifizierung und Anpassung von Sicherheitsmaßnahmen werden gemeinsam erarbeitet. Anwenden: Die Teilnehmer lernen die Grundlagen für den Aufbau eines Risiko- und Notfallmanagements. Sie sind in der Lage die relevanten Gesetzesvorgaben und die daraus abzuleitenden sicherheitstechnischen Vorgaben zu beschreiben und zu vergleichen. Lernende können alternative Lösungsmöglichkeiten skizzieren. Analysieren: Die Teilnehmer können bestehende Risiken identifizieren, bewerten und analysieren. Evaluieren: Die Lernenden können nach der VL allgemeine Betriebs- und Sicherheitsmodelle ableiten, Bedrohungsszenarien bewerten und praxisnahe Kriterien aufstellen.

		Erschaffen: Durch die Vermittlung der interdisziplinären Anforderungen anhand von Lösungsbeispielen werden die Lernenden in die Lage versetzt, eigenständig Sicherheitskonzepte, sowie Maßnahmen umzusetzen und zu gestalten.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	• BRENNER, Michael, et al. Praxisbuch ISO/IEC 27001: Management der Informationssicherheit und Vorbereitung auf die Zertifizierung. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2022 • BSI. "IT-Grundschutz-Kompendium (Edition 2023)." Bundesamt Für Sicherheit in Der Informationstechnik, 1 Feb. 2023, www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Kompendium/IT_Grundschutz_Kompendium_Edition2023.html

1	Module name 44455	Speech and Language Processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Speech and Language Understanding (2 SWS) Übung: Speech and Language Understanding Exercises (0 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Alexander Barnhill Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier Abner Hernandez	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Nach Behandlung der grundlegenden Mechanismen menschlicher Spracherzeugung und Sprachwahrnehmung gibt die Vorlesung eine detaillierte Einführung in (vornehmlich) statistisch orientierte Methoden der maschinellen Erkennung gesprochener Sprache. Schwerpunktthemen sind Merkmalgewinnung, Vektorquantisierung, akustische Sprachmodellierung mit Hilfe von Markovmodellen, linguistische Sprachmodellierung mit Hilfe stochastischer Grammatiken, prosodische Information sowie Suchalgorithmen zur Beschleunigung des Dekodiervorgangs. After focussing on of the basic mechanisms of human speech generation and speech perception the lecture gives a detailed introduction to (mainly) statistically oriented methods of automatic recognition of spoken language. Main topics are feature extraction, vector quantization, acoustic speech modeling with the help of Markov models, linguistic speech modeling with the help of stochastic grammars, prosodic information as well as search algorithms to speed up the decoding process.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Grundlagen der menschlichen Sprachproduktion und die akustischen Eigenschaften unterschiedlicher Phonemklassen • erklären den allgemeinen Aufbau eines Mustererkennungssystems • verstehen Abtastung, das Abtasttheorem und Quantisierung in Bezug auf Sprachsignale • verstehen die Fourier-Transformation und mathematische Modelle der Sprachproduktion • verstehen harte und weiche Vektorquantisierungsmethoden • verstehen unüberwachtes Lernen (EM-Algorithmus) • verstehen Hidden Markov-Modelle (HMMs) • erklären stochastische Sprachmodelle The students • understand the principles of human speech production and acoustic properties of the different phoneme classes • explain the general pipeline of a pattern recognition system

		• understand sampling, the sampling theorem, and quantization w.r.t. speech signals • understand Fourier transformation and mathematical models of speech production • understand hard and soft vector quantization methods • understand unsupervised learning (EM-algorithm) • understand Hidden Markov Models (HMMs) • explain stochastic language models
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Niemann H.: Klassifikation von Mustern; Springer, Berlin 1983 • Niemann H.: Pattern Analysis and Understanding; Springer, Berlin 1990 • Schukat-Talamazzini E.G.: Automatische Spracherkennung; Vieweg, Wiesbaden 1995 • ◦ Rabiner L.R., Juang B.H.: Fundamentals of Speech Recognition; Prentice Hall, New Jersey 1993

1	Module name 43190	Reconfigurable Computing with extended exercises Reconfigurable computing	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Joachim Falk
5	Contents	Content: Reconfigurable (adaptive) computing is a novel yet important research field investigating the capability of hardware to adapt to changing computational requirements such as emerging standards, late design changes, and even to changing processing requirements arising at run-time. Reconfigurable computing thus benefits from a) the programmability of software similar to the Von Neumann computer and b) the speed and efficiency of parallel hardware execution. The purpose of the course reconfigurable computing is to instruct students about the possibilities and rapidly growing interest in adaptive hardware and corresponding design techniques by providing them the necessary knowledge for understanding and designing reconfigurable hardware systems and studying applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. After a general introduction about benefits and application ranges of reconfigurable (adaptive) computing in contrast to general-purpose and application-specific computing, the following topics will be covered: • Reconfigurable computing systems: Introduction of available technology including fine grained look up table (LUT-) based reconfigurable systems such as field programmable gate arrays (FPGA) as well as newest coarse grained architectures and technology. • Design and implementation: Algorithms and steps (design entry, functional simulation, logic synthesis, technology mapping, place and route, bit stream generation) to implement (map) algorithms to FPGAs. The main focus lies on logic synthesis algorithms for FPGAs, in particular LUT technology mapping. • Temporal partitioning: techniques to reconfigure systems over time. Covered are the problems of mapping large circuits which do not fit one single device. Several temporal partitioning techniques are studied and compared. • Temporal placement: Techniques and algorithms to exploit the possibility of partial and dynamic (run-time) hardware reconfiguration. Here, OS-like services are needed that optimize the allocation and scheduling of modules at run-time. • On-line communication: Modules dynamically placed at run-time on a given device need to communicate as well as transport data off-chip. State-of-the-art techniques are introduced how modules can communicate data at run-time

		including bus-oriented as well as network-on-a-chip (NoC) approaches. • Designing reconfigurable applications on Xilinx Virtex FPGAs: In this part, the generation of partial bitstreams for components to be placed at run-time on Xilinx FPGAs is introduced and discussed including newest available tool flows. • Applications: This section presents applications benefiting from dynamic hardware reconfiguration. It covers the use of reconfigurable systems including rapid prototyping, reconfigurable supercomputers, reconfigurable massively parallel computers and studies important application domains such as distributed arithmetic, signal processing, network packet processing, control design, and cryptography.
6	Learning objectives and skills	Learning objectives and competencies: Domain-specific knowledge • The students know to exploit run-time reconfigurable design methodologies for adaptive applications. Domain-specific comprehension • The students understand the mapping steps, and optimization algorithms. • The students classify different types and kinds of reconfigurable hardware technologies available today. • The students clarify pros and cons of reconfigurable computing technology. • The students summarize applications benefiting from reconfigurable computing. Domain-specific practice • The students apply design tools for implementation of circuits and systems-on-a-chip (SoC) on FPGAs during practical training. Social competency • The students perform group work in small teams during practical training.
7	Prerequisites	Selection of this module prohibits the selection of the modules "Reconfigurable Computing", "Reconfigurable Computing (Lecture with Exercises)", or "Reconfigurable Computing (Lecture with Extended Exercises)" by the student.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Oral exam in case of less than 20 participants (duration 30 mins). Otherwise, written exam (duration 90 mins). In both cases, successful

		completion of all tasks of the extended exercises is mandatory at the workstations in our lab at the chair.
11	Grading procedure	Variable (100%) The exam determines the final grade of the module.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Further reading material: • The Hamburg VHDL Archive (see Documentation link for free books) http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/research/vlsi/vhdl/index.php • Interactive VHDL Tutorial with 150 examples from ALDEC http://www.aldec.com/downloads/ • Easy FPGA tutorials, projects, and boards http://www.fpga4fun.com • Xilinx WebPack ISE and Modelsim MXE (free FPGA synthesis tool and free VHDL simulator) http://www.xilinx.com/ise/logic_design_prod/webpack.htm • Symphony EDA free VHDL simulator (select FREE Edition license) http://www.symphonyeda.com/products.htm • Icarus open-source Verilog simulator http://www.icarus.com/eda/verilog/ Further information: https://www.cs12.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/vorlesungen/reconfigurable-computing/

1	Module name 44200	Computational Neurotechnology / Numerische Neurotechnologie Computational neurotechnology / Numerical neurotechnology	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung mit Übung: Computational Neurotechnology	-
3	Lecturers	Prof. Dr. Tobias Reichenbach	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Tobias Reichenbach
5	Contents	Foundations of Computational Neuroscience and the processing of neural signals. Applications in the areas of artificial neural networks, Brain-Machine-Interfaces (BCIs) and neural prosthesis.
6	Learning objectives and skills	• Can understand the principles of the analysis of neural signals • Can apply information theory for the description of neural activity • Can perform simulations of the dynamics of single neurons as well as of neural networks • Can evaluate different approaches to construct Brain-Machine-Interfaces (BCIs) • Can explain concepts for the design of neural prosthesis
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Written examination Written exam (60 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Dayan, Peter, and Laurence F. Abbott. Theoretical neuroscience: computational and mathematical modeling of neural systems. Computational Neuroscience Series, 2001. Gerstner, Wulfram, et al. Neuronal dynamics: From single neurons to networks and models of cognition. Cambridge University Press, 2014. Oweiss, Karim G., ed. Statistical signal processing for neuroscience and neurotechnology. Academic Press, 2010.

	Maurits, Natasha. From neurology to methodology and back: an introduction to clinical neuroengineering. Springer Science & Business Media, 2011.

	Clément, Claude. Brain-Computer Interface Technologies. Springer International Publishing, 2019.

	DiLorenzo, Daniel J., and Joseph D. Bronzino, eds. Neuroengineering. CRC Press, 2007.

1	Module name 47664	Fundamentals in Anatomy and Physiology for Engineers Fundamentals in anatomy and physiology for engineers	5 ECTS
2	Courses / lectures	Online-Kurs: Fundamentals in Anatomy and Physiology for Engineers (4 SWS) This module is offered as an online course only. For more information, please join the StudOn course.	-
3	Lecturers	Benedikt Kleinsasser Prof. Dr. Dr. h. c. Friedrich Paulsen	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Michael Eichhorn
5	Contents	• Biological Systems • Trunk System • Nervous System • Respiration • Circulation • Heart • Digestion • Neuroscience • Functional cardiology • Advanced endoscopy • Advanced neuroimaging
6	Learning objectives and skills	Students are able to • describe relevant structures of the human anatomy and basic physiological processes • understand features of biological systems when applying optical technologies to them • describe exemplarily applications of optical technologies in medicine
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Written exam, 90 min.
10	Method of examination	Written examination (90 minutes)
11	Grading procedure	Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

16	Bibliography	Gerard J. Tortora, Bryan Derrickson: Principles of Anatomy and Physiology:

1	Module name 44159	Surgical Technologies Innovation	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Franziska Mathis-Ullrich
5	Contents	The module involves theoretical and practical course work. Interactive lectures will provide introduction to medical technologies, surgical robotics and machine learning for surgical applications. In addition, through lectures, experts from several surgical disciplines (e.g. Neurosurgery, Abdominal surgery, Urology, Orthopedic surgery) will introduce their surgical fields and point out current challenges in their respective fields. During hospitations at the operation room, students gain understanding about surgeries and are to identify problems and worksteps that may be solved and/or supported by novel medical technologies. In exercise teams, the students will research and develop technologies to support surgeons in the respective surgical discipline and evaluate them in the lab. If successful, students are encouraged to submit and present their work at a medical technologies conference.
6	Learning objectives and skills	Students • are able to identify challenges in surgical procedures through observation and interviews • are able to solve a practical problem from the field of medical technology independently. • are able to specify and implement hardware and software required to solve a given problem. • apply basic knowledge to a problem and develop solution strategies. • are able to solve a problem alone or as part of a team. • have knowledge of the phases of a project, time, and resource management. • are confident in the use of software development tools, source code management, and documentation. • are able to convey complex technical content in a scientific report and presentation.
7	Prerequisites	Students are recommended to have attended lectures <i>AI in Medical Engineering, Robotics in Surgery and Diagnostics, Empirical Research Methods in Medical Engineering</i> General knowledge in the areas AI, robotics and/or surgical application will be an advantage.

		A high degree of motivation and independency is expected. The number of accepted students is limited.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Written report and presentation; <i>attendance at exercises is mandatory</i>
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	

1	Module name 275245	Heterogene Rechnerarchitekturen Online Heterogeneous computing architectures online	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Heterogene Rechnerarchitekturen Online (0 SWS)	-
3	Lecturers	Johannes Kliemt Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Fey
5	Contents	Whereas heterogeneous architectures and parallel computing has filled an academic niche in the past it has become now a commodity technique with the rising of multi-core processors and programmable graphic cards. Even FPGAs play a role hereby in a certain extent due to their increasing importance as accelerator hardware what is clearly observable in the scientific community. However, on one side parallel hardware like multi-core and GPUs are now available nearly for everybody and not only for a selected selection of people, who have access to a parallel supercomputer. On the other side the knowledge about programming of this commodity hardware, and we mean here in particular hardware-orientated programming in order to squeeze out all offered GFlops and TFlops of such hardware, is still missing as well as the knowledge about the architecture details. To overcome this lack we offer this course HETRON. The e-learning course HETRON for the exploitation of parallel and heterogeneous computer architectures) focuses on two main topics which are closely related to each other. This concerns on one side the benefits of using different kinds of multi-core processors and parallel architectures built-up on base of these multicore processors. These architectures differ among each other in the number and in the complexity of its single processing nodes. We distinguish between systems consisting of a large number of simpler, so called fine-grained, processor cores vs. systems consisting of a smaller number of more complex, so called coarse-grained, processor cores. On the other side we lay our focus on that we want to do with these different heterogeneous parallel architectures, namely the execution of parallel programs. Of course this requires the use of parallel programming languages and environments, like CUDA or OpenMP. However, besides these questions of using the right syntax and the right compiler switches to optimize a parallel program it is a pre-requisite to understand how

		parallel computing really works. This refers (i) to the comprehension which basic mechanisms of parallel computing exist, (ii) where are the limits of getting more performance with parallel computing and (iii) in what context stand these mechanisms to heterogeneous architectures. In other words it handles the question which architecture is the best one for a certain parallelization technique. To teach these three topics, is one main goal we pursue with the course HETRON, and of course, this more fundamental basics of heterogeneous and parallel computing have to be proven by means of concrete application examples to deepen the acquired knowledge about heterogeneous architectures and parallel computing principles.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden verstehen die Notwendigkeit sowie grundlegende Anwendungsfälle für heterogene Rechnerarchitekturen. ...können den grundlegenden Aufbau und das Zusammenspiel der Komponenten heterogener Rechnerarchitekturen erklären. ...erläutern grundsätzliche Parallelisierungsprinzipien wie Amdahls Law, High-Performance- und High-Throughput-Computing sowie Parallelisierungsstrategien. ...können einfache Programme mit Hilfe der vermittelten Parallelisierungsprinzipien (Amdahls Law, High-Performance- und High-Throughput-Computing) analysieren und entsprechende Parallelisierungsstrategien entwickeln. ...erklären den Aufbau sowie Stärken und Schwächen von verschiedenen Architekturen wie CPUs, GPUs, Many-Core Prozessoren und FPGAs. ...implementieren ausgewählte Anwendungsbeispiele (SHA256 Algorithmus, Ising-Modell und Fast-Fourier-Transformation) auf oben genannte Architekturen. ...erforschen und bewerten verschiedener Parallelisierungstechniken in Abhängigkeit der Anwendung und der Architektur. ...erläutern die Grundlagen des Grid- und Cloud-Computings ...sind in der Lage parallele Berechnungen (SHA256) im Grid umzusetzen.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (60 minutes)
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Every semester

13	Workload in clock hours	Contact hours: 0 h Independent study: 150 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	

1	Module name 43822	Computer Graphics Computer graphics	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Marc Stamminger
5	Contents	Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Computergraphik: • Graphik Pipeline • Clipping • 3D Transformationen • Hierarchische Display Strukturen • Perspektive und Projektionen • Visibilitätsbetrachtungen • Rastergraphik und Scankonvertierung • Farbmodelle • Lokale und globale Beleuchtungsmodelle • Schattierungsverfahren • Ray Tracing und Radiosity • Schatten und Texturen Contents: This lecture covers the following aspects of Computer Graphics: • graphics pipeline • clipping • 3D transformations • hierarchical display structures • perspective transformations and projections • visibility determination • raster graphics and scan conversion • color models • local and global illumination models • shading models • ray tracing and radiosity • shadows and textures
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • geben die unterschiedlichen Schritte der Graphik Pipeline wieder • erklären die Funktionsweise der Clippingalgorithmen für Linien und Polygone • beschreiben, charakterisieren und berechnen affine und perspektivische Transformationen in 3D und veranschaulichen die allgemeine Form der Transformationsmatrix in homogener Koordinaten • skizzieren die Verfahren zur Tiefe- und Visibilitätsberechnung • vergleichen die unterschiedlichen Farbmodelle der Computergraphik

		• illustrieren und untersuchen die Datenstrukturen zur Beschreibung virtueller 3D Modelle und komplexer Szenen • erläutern die Funktionsweise der Rasterisierung und Scankonvertierung in der Graphikpipeline • lösen Aufgaben zu Beleuchtung und Texturierung von 3D virtuellen Modellen • klassifizieren Schattierungsverfahren • bestimmen den Unterschied zwischen lokaler und globaler Beleuchtung und formulieren Algorithmen für Ray Tracing und Radiosity *Educational objectives and skills:* Students should be able to • describe the processing steps in the graphics pipeline • explain clipping algorithms for lines and polygons • explain, characterize and compute affine and perspective transformations in 2D and 3D, and provide an intuitive description of the general form of corresponding transformation matrices in homogeneous coordinates • depict techniques to compute depth, occlusion and visibility • compare the different color models • describe data structures to represent 3D virtual models and complex scenes • explain the algorithms for rasterization and scan conversion • solve problems with shading and texturing of 3D virtual models • classify different shadowing techniques • explain the difference between local and global illumination techniques and formulate algorithms for ray tracing and radiosity
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Tutorial achievement Written examination (60 minutes) Die Übungen ("Computer Graphics Basic Tutorials") bestehen aus insgesamt 10 wöchentlichen Aufgabenblättern mit kleinen Programmieraufgaben. The exercises ("Computer Graphics Basic Tutorials") consist of weekly worksheets (10 worksheets in total) with small programming tasks.
11	Grading procedure	Tutorial achievement (pass/fail) Written examination (100%)

		Zum Bestehen des Moduls müssen 50% der Punkte in den Übungen erreicht und die Abschlussprüfung bestanden werden. Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der Prüfung. The module is passed when 50% of the points in the exercises are reached and when the final exam is passed. The grade of the module is entirely determined by the grade in the final exam.
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	• P. Shirley: Fundamentals of Computer Graphics. AK Peters Ltd., 2002 • Hearn, M. P. Baker: Computer Graphics with OpenGLD. Pearson • Foley, van Dam, Feiner, Hughes: Computer Graphics - Principles and Practice • Rauber: Algorithmen der Computergraphik • Bungartz, Griebel, Zenger: Einführung in die Computergraphik • Encarnação, Strasser, Klein: Computer Graphics

1	Module name 43374	Computer Graphics Deluxe	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Marc Stamminger
5	Contents	Die Vorlesung gibt eine Einführung in die Computergraphik: • Graphik Pipeline • Clipping • 3D Transformationen • Hierarchische Display Strukturen • Perspektive und Projektionen • Visibilitätsbetrachtungen • Rastergraphik und Scankonvertierung • Farbmodelle • Lokale und globale Beleuchtungsmodelle • Schattierungsverfahren • Ray Tracing und Radiosity • Schatten und Texturen Contents: This lecture covers the following aspects of Computer Graphics: • graphics pipeline • clipping • 3D transformations • hierarchical display structures • perspective transformations and projections • visibility determination • raster graphics and scan conversion • color models • local and global illumination models • shading models • ray tracing and radiosity • shadows and textures
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • geben die unterschiedlichen Schritte der Graphik Pipeline wieder • erklären die Funktionsweise der Clippingalgorithmen für Linien und Polygone • beschreiben, charakterisieren und berechnen affine und perspektivische Transformationen in 3D und veranschaulichen die allgemeine Form der Transformationsmatrix in homogener Koordinaten • skizzieren die Verfahren zur Tiefe- und Visibilitätsberechnung • vergleichen die unterschiedlichen Farbmodelle der Computergraphik

		• illustrieren und untersuchen die Datenstrukturen zur Beschreibung virtueller 3D Modelle und komplexer Szenen • erläutern die Funktionsweise der Rasterisierung und Scankonvertierung in der Graphikpipeline • implementieren 3D Transformationen mithilfe der Programmiersprache C++ und der graphischen Bibliothek OpenGL • Implementieren Beleuchtungsmodelle und Texturierung von virtuellen 3D Objekten mithilfe der Programmiersprachen OpenGL und GLSL • lösen Aufgaben zu Beleuchtung und Texturierung von 3D virtuellen Modellen • klassifizieren Schattierungsverfahren • bestimmen den Unterschied zwischen lokaler und globaler Beleuchtung und formulieren Algorithmen für Ray Tracing und Radiosity *Educational objectives and skills:* Students should be able to • describe the processing steps in the graphics pipeline • explain clipping algorithms for lines and polygons • explain, characterize and compute affine and perspective transformations in 2D and 3D, and provide an intuitive description of the general form of corresponding transformation matrices in homogeneous coordinates • depict techniques to compute depth, occlusion and visibility • compare the different color models • describe data structures to represent 3D virtual models and complex scenes • explain the algorithms for rasterization and scan conversion • solve problems with shading and texturing of 3D virtual models • classify different shadowing techniques • explain the difference between local and global illumination techniques and formulate algorithms for ray tracing and radiosity
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlpflichtmodul aus INF im Schwerpunkt Media Processing Systems Master of Science Information and Communication Technology 20222 Sowohl die Computer Graphics Basic Tutorials als auch die Computer Graphics Advanced Tutorials bestehen aus 10 wöchentlichen Aufgabenblättern mit kleinen Programmieraufgaben.
10	Method of examination	Tutorial achievement Tutorial achievement

		Written examination (60 minutes) Zum Bestehen des Moduls müssen 50% der Punkte in den Übungen erreicht und die Prüfung bestanden werden. Die Modulnote ergibt sich zu 100% aus der mündlichen Prüfung.
11	Grading procedure	Tutorial achievement (pass/fail) Tutorial achievement (pass/fail) Written examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• P. Shirley: Fundamentals of Computer Graphics. AK Peters Ltd., 2002 • Hearn, M. P. Baker: Computer Graphics with OpenGLD. Pearson • Foley, van Dam, Feiner, Hughes: Computer Graphics - Principles and Practice • Rauber: Algorithmen der Computergraphik • Bungartz, Griebel, Zenger: Einführung in die Computergraphik • Encarnação, Strasser, Klein: Computer Graphics

1	Module name 42917	Clean combustion technology	5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Clean Combustion Technology (2 SWS) Übung: Exercises in Clean Combustion Technology (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Florian Bauer Prof. Dr.-Ing. Stefan Will	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Stefan Will
5	Contents	Introduction to combustion technology: fundamentals, laminar flames, turbulent flames, combustion modeling , pollutant formation, application. Introduction to numerical simulation of flows with combustion.
6	Learning objectives and skills	Students will... • gain in-depth technical and methodological knowledge in combustion technology, combustion modeling, pollutant formation and engineering applications • are able to characterize different flame types and evaluate technical applications with respect to efficiency and pollutants • can describe global reaction equations as well as simple flames with thermodynamic conservation equations • are familiar with the interdisciplinary approach at the interface of fluid mechanics, thermodynamics and reactive flows • have an understanding of methods of experimental and numerical combustion analysis • are capable of entering university as well as industrial research and development in current topics of energy engineering • are familiar with the development in the field of applicative and engineered combustion systems
7	Prerequisites	Basic knowledge of thermodynamics and fluid mechanics is recommended. Also suitable for students in other disciplines (chemistry, physics, mathematics, mechanical engineering, mechatronics, computational engineering).
8	Integration in curriculum	semester: 1;2;3;4
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable (90 minutes) Written exam with a combination of multiple-choice and open questions
11	Grading procedure	Variable (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

16	Bibliography	• Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Verbrennung", 3. Auflage, Springer-Verlag, 2001 • Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Combustion", 4th Edition, Springer-Verlag, 2006 • Joos, F. "Technische Verbrennung", Springer-Verlag, 2006

1	Module name 42903	Clean combustion technology with laboratory course	7,5 ECTS
2	Courses / lectures	Vorlesung: Clean Combustion Technology (2 SWS) Übung: Exercises in Clean Combustion Technology (2 SWS) Praktikum: Lab Course in Clean Combustion Technology (3 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Florian Bauer Prof. Dr.-Ing. Stefan Will	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Stefan Will
5	Contents	- Einführung in die Verbrennungstechnik: Grundlagen, laminare Flammen, turbulente Flammen, Verbrennungsmodellierung, Schadstoffbildung, Anwendungsbeispiele. - Einführung in numerische Simulation von Strömungen mit Verbrennung. Content: - Introduction to combustion technology: Fundamentals, laminar flames, turbulent flames, conservation equations, modeling of combustion systems, pollutant formation, applications. - Introduction in numerical simulation of flows with combustion.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden verfügen über vertiefte Fach- und Methodenkompetenzen im Bereich der Verbrennungstechnik, Verbrennungsmodellierung, Schadstoffbildung und der technischen Anwendungen - können unterschiedliche Flammentypen charakterisieren und realisierte technische Anwendungen hinsichtlich Wirkungsgrad und Emissionen vergleichen und bewerten - können die globale Verbrennung sowie einfache Flammen mit thermodynamischen Erhaltungsgleichungen beschreiben - sind mit der interdisziplinären Arbeitsweise an der Schnittstelle von Strömungsmechanik, Thermodynamik und Reaktionstechnik vertraut - haben Verständnis von Methoden der experimentellen und numerischen Verbrennungsanalyse - sind zum Einstieg in die universitäre als auch industrielle Forschung und Entwicklung auf einem aktuellen Themengebiet der Energietechnik befähigt - sind mit den neusten Entwicklungen auf dem Gebiet der technischen und motorischen Verbrennungssysteme vertraut Students will... - gain in-depth technical and methodological knowledge in combustion technology, combustion modeling, pollutant formation and engineering applications

		• are able to characterize different flame types and evaluate technical applications with respect to efficiency and pollutants • can describe global reaction equations as well as simple flames with thermodynamic conservation equations • are familiar with the interdisciplinary approach at the interface of fluid mechanics, thermodynamics and reactive flows • have an understanding of methods of experimental and numerical combustion analysis • are capable of entering university as well as industrial research and development in current topics of energy engineering • are familiar with the development in the field of applicative and engineered combustion systems
7	Prerequisites	Grundwissen Thermodynamik und Strömungsmechanik hilfreich. Auch für StudentInnen anderer Fachrichtungen geeignet (Chemie, Physik, Mathematik, Maschinenbau, Mechatronik, Computational Engineering). Prerequisites: Basic Thermodynamics and Fluid Dynamics is helpful. Students of other subjects (Chemistry, Physics, Mathematics, Mechanical Engineering, Mechatronics, Computational Engineering) can also participate.
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Variable Variable (90 minutes)
11	Grading procedure	Variable (pass/fail) Variable (100%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 90 h Independent study: 135 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Verbrennung", 3. Auflage, Springer-Verlag, 2001 • Warnatz, J., Maas, U., Dibble, R. "Combustion", 4th Edition, Springer-Verlag, 2006 • Joos, F. "Technische Verbrennung", Springer-Verlag, 2006

1	Module name 23070	Biomedizinische Signalanalyse Biomedical signal analysis	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Björn Eskofier Daniel Krauß
5	Contents	Inhalt Im Rahmen der Vorlesung werden (a) die Grundlagen der Generation von wichtigen Biosignalen im menschlichen Körper, (b) die Messung von Biosignalen und (c) Methoden zur Analyse von Biosignalen erläutert und dargestellt. Behandelte Biosignale sind unter anderem Aktionspotential (AP), Elektrokardiogramm (EKG), Elektromyogramm (EMG), Elektroenzephalogramm (EEG), oder Mechanomyogramm (MMG). Bei der Messung liegt der Fokus beispielsweise auf der Messtechnik oder der korrekten Sensor- bzw. Elektrodenanbringung. Im größten Teil der Vorlesung, Analyse von Biosignalen, werden Konzepte zur Filterung für die Artefaktreduktion, der Wavelet Analyse, der Ereigniserkennung und der Wellenformanalyse behandelt. Zum Schluss wird einen Einblick in überwachte Verfahren der Mustererkennung gegeben. Für weitere Informationen, besuchen Sie bitte unseren zugehörigen StudOn Kurs. Content The lecture content explains and outlines (a) basics for the generation of important biosignals of the human body, (b) measurement of biosignals, and (c) methods for biosignals analysis. Considered biosignals are among others action potential (AP), electrocardiogram (ECG), electromyogram (EMG), electroencephalogram (EEG), or mechanomyogram (MMG). The focus during the measurement part is for example the measurement technology or the correct sensor and electrode placement. The main part of the lecture is the analysis part. In this part, concepts like filtering for artifact reduction, wavelet analysis, event detection or waveform analysis are covered. In the end, an insight into pattern recognition methods is obtained. For more information, please visit our associated StudOn course
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden können nach erfolgreichem Abschluss des Kurses Fachkompetenz Wissen die Entstehung, Messung und Charakteristika der wichtigsten Biosignale des menschlichen Körpers wiedergeben Verstehen

- die wesentlichen Ursachen von Artefakten in Biosignalen erklären
- Zusammenhänge zwischen der Entstehung der Biosignale des menschlichen Körper und dem gemessenen Signal erklären
- Messmethoden der wichtigsten Biosignale erklären
- Filteroperationen zur Eliminierung von Artefakten erläutern
- bekannte Algorithmen der Verarbeitung bestimmter Biosignale erklären (z.B. Pan Tompkins für EKG)
- typische Komponenten und ihre Bedeutung in einer generischen Signalanalyse Kette erläutern
- die Struktur und Funktionsweise von Systemen zur maschinellen Klassifikation einfacher Muster darstellen

Anwenden

- Signalcharakteristiken im Zeit- und Frequenzbereich bestimmen
- Algorithmen der Biosignalverarbeitung anwenden und in Python implementieren
- Filteroperationen zur Eliminierung von Artefakten anwenden und in Python implementieren
- Methoden selbstständig auf interdisziplinäre Fragestellungen der Medizin und der Ingenieurwissenschaften anwenden
- das Ergebnis von typischen Filteroperationen abschätzen

Analysieren

- Filtercharakteristika von Schaltkreisen ableiten
- Algorithmen der Biosignalverarbeitung vergleichen
- Klassifikationsprobleme in Python lösen
- Typische Artefakte in Biosignalen erkennen und Lösungsstrategien vorschlagen

Evaluieren (Beurteilen)

- Biosignale mit medizinischen Normalwerten vergleichen und im medizinischen Kontext evaluieren
- Klassifikationsergebnisse beurteilen
- die Bedeutung der Biosignalverarbeitung für die Medizintechnik diskutieren
- Probleme in Gruppen kooperativ und verantwortlich lösen und in der Übungsgruppe bzw. im Forum diskutieren

After completion of the course, students are able to

Knowledge

- reproduce the generation, measurement, and characteristics of important biosignals of the human body

Understanding

- explain the causes of artifacts in biosignals
- explain relations between the generation of biosignals and the measured signal
- explain methods for the measurement of important biosignals
- explain filter operations for the reduction of artifacts

		• explain algorithms for the analysis of important biosignals (e.g. Pan Tompkins for EKG) • explain typical components and their importance in the signal analysis chain • explain the structure and functioning of systems for machine learning and pattern recognition Application • determine signal characteristics in the time and frequency domain • apply and implement algorithms for signal analysis in Python • implement filter operations for the reduction of artifacts in Python • estimate the result of filter operations • apply methods to interdisciplinary problems in medicine and medical engineering Analyze • derive filter characteristics from electric circuits • compare signal analysis algorithms • solve classification problems in Python • recognize typical artifacts in biosignals and propose solutions for their reduction Evaluation • compare biosignals with medical norm values and evaluate them in a medical context • evaluate classification results • discuss the importance of biomedical signal analysis for medical engineering • solve and discuss problems in groups cooperatively in the group exercises and the online forum
7	Prerequisites	Prerequisites The Biosig lectures and exercises do not have formal requirements. However, we expect you to have some knowledge about the following topics: • Basics of Physiology and Anatomy (High-school level) • ◦ Basic elements of electronic circuits (resistor, capacitor, inductor) and related equations • Basic math: Integration, Differentiation, Limits • ◦ Fourier Transform (qualitative understanding) ◦ Basic filter types ◦ z-plane (qualitative understanding) Furthermore, some knowledge in the following topics will be beneficial to easily understand the content of the lecture: • Advanced filter concepts • z-plane math / z-transform / pole-zero plots

		• Frequency domain math / detailed understanding of Fourier transform and its properties • Laplace transform • Basics of Python (for the exercises) If you want to refresh your knowledge on all the aforementioned topics, we recommend the following lectures and online resources: Note that some of them go beyond the requirements of this lecture for many topics! • Signals and Systems I • Grundlagen der Anatomie und Physiologie für Medizintechniker • Video Series: Introduction to discrete Control (and further videos from this channel, as general introduction to filter and z-plane math) • A visual introduction to Fourier Transform • Udacity Python Course Course materials from the Stanford "Introduction to Scientific Python"
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Electronic examination Electronic Exam (in presence), 90min.
11	Grading procedure	Electronic examination (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• R.M. Rangayyan, Biomedical Signal Analysis: A case-study approach. 1st ed., 2002, New York, NY: John Wiley & Sons. • E.N. Bruce, Biomedical Signal Processing and Signal Modeling. 1st ed., 2001, New York, NY: John Wiley & Sons.

Lab course or Research Project

1	Module name 92507	Laborpraktikum Human-Robot Interaction Seminar: Human-robot interaction	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers. Attendance is required for all six experiments.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Philipp Beckerle
5	Contents	Six experiments are completed in the HRI (Human Robot Interaction) practical course. After an introduction to ROS and Python, three experiments are carried out with a Franka-Emika lightweight robot and two experiments with a humanoid NAO robot. The structure of each experiment is composed of a preparation phase, an execution phase and a reflection phase, in which the participants work in groups on tasks to create a complex application on each of the platforms. • Introduction to the Robot Operating System (ROS) • Introduction to Python • Teleoperation of the lightweight robot • Collaboration with the lightweight robot • Collision detection and reconfiguration with the lightweight robot • Object recognition with the humanoid robot as platform • Object recognition with neural networks
6	Learning objectives and skills	Upon completion of the lab course, students will be able to understand the basic concepts of ROS and design applications of a lightweight robot in terms of human-machine interaction. They will learn how humanoid robots work and assess their current state of the art.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Students are required to complete the practical assignment of each experiment within 4 hours. The course is considered passed if all six experiments are successfully completed within the specified time. Attendance accounts to 16h and self-study to 59h.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english

1	Module name 92356	Praktikum Communications Systems Design Laboratory course: Communications systems design	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Communications Systems Design	2,5 ECTS
3	Lecturers	Torsten Reißland	

4	Module coordinator	Arslan Ali Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	
5	Contents	The lab course is based on the GNU Radio software platform. It includes a general introduction into GNU Radio, Python programming and Software Defined Radios (SDRs), as well as a more thorough introduction into USRPs. The students learn how to set up pure simulations of communication systems in Gnu Radio, how to use it in conjunction with Software Defined Radios and how to develop and test custom modules in Python. Regarding Gnu Radio the usage of different data types, variables, structures (e.g. vectors and streams), hierarchical development and flow control are part of the course. The course is structured into 8 exercises which first cover different modulation schemes like AM, PAM, and OFDM. In the later part of the course topics of practical relevance like synchronization (time, frequency, phase, frame) and equalization are covered. One synchronization scheme for OFDM is to be implemented by the students in Python. Most exercises have the goal to transmit audio data, first in a simulation, then in a loopback with one device and later between several devices. Setups to evaluate metrics like eye diagrams and EVM are introduced in a practical manner. Passing an introduction test is prerequisite for the participation in the lab course.	
6	Learning objectives and skills	Students - Can bridge the gap between communications theory, analog/digital baseband, and RF design - Can develop quick and flexible prototypes for real-time communications systems and standards using SDR solutions - Can determine the design parameters and assess the interaction between various analog and digital parts - Can create efficient Tx/Rx programs and signal processing algorithms in GNU Radio - Can implement channel estimation and equalization algorithms in TDD and FDD systems - Can demonstrate OFDM based systems - Can quantify and evaluate system performance using EVM and impairments analysis	

7	Prerequisites	Prerequisite for this course is proper knowledge in the fundamentals of digital communications and digital signal processing.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement At the begin of the lab course, the prerequisites are tested with a short (15 min) written test. Passing this test is required to participate in the experiments. The lab course itself consists of six experiments. At the end of every experiment the students have to present their respective final result. The understanding of the theoretical concepts will be check orally.
11	Grading procedure	Practical achievement (100%)
12	Module frequency	Every semester The lab course takes place as a block course (1 week) in each semester.
13	Workload in clock hours	Contact hours: 40 h Independent study: 35 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 97500	Laborpraktikum Digitaler ASIC-Entwurf Laboratory: Digital ASIC design	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Digitaler ASIC-Entwurf (Blockpraktikum) (3 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Jürgen Frickel	

4	Module coordinator	Jürgen Frickel
5	Contents	In diesem Praktikum wird jeweils in Zweiergruppen eine komplexe digitale Schaltung für ein FPGA entworfen, Entwurfsziel sind hardware- und grafikorientierte Anwendungen, die ohne Prozessor/Software als reine Hardware-Lösung entwickelt und realisiert werden müssen. Hierzu müssen die Teilnehmer zu Beginn eine rudimentär vorgegebene Systemspezifikation analysieren, verbessern und verfeinern, eine Systemidee entwickeln, das geplante System partitionieren und auf Module aufteilen. Die angestrebten Lösungen werden in regelmässigen Kurzvorträgen mit der Gesamtgruppe diskutiert. Die in der Hardware-Beschreibungssprache VHDL entworfenen Module können dann mit Hilfe des Entwurfswerkzeugs (aktuell: XILINX Vivado) spezifiziert, simuliert, verifiziert und abschließend für die Ziel-Hardware synthetisiert werden. Hierbei ist außer der Schnittstellenproblematik zwischen den Modulen auch der Aspekt des simulations- und testfreundlichen Entwurfs zu beachten. Mit einer vorhandenen FPGA-Testumgebung (Evaluation/Education Board) wird der Funktions- und Systemtest auf realer Hardware durchgeführt. Nach der Verifikation und Zusammenschaltung aller Module erfolgt ein abschließender Funktionstest und Bewertung (Größe, Geschwindigkeit, Funktionsumfang, Effizienz, etc.) der Schaltung in Form einer Demonstration vor der Gesamtgruppe.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz Anwenden Die Studierenden setzen die vorab (in einer anderen LV) erlernte Hardware-Beschreibungssprache VHDL in ihrem vollen Umfang zur Spezifikation und Implementierung eines komplexen, digitalen Systems ein. Analysieren Die Studierenden analysieren ein nur rudimentär beschriebenes digitales mikroelektronisches System, untersuchen mögliche Lösungsansätze und strukturieren diese Lösungsansätze in handhabbare Module. Evaluieren (Beurteilen) Die Studierenden diskutieren und bewerten im Rahmen von Kurzvorträgen eigene und fremde Lösungsvorschläge zum Systementwurf, vergleichen diese nach eigenen Kriterien, und wählen dann hiermit die besten Lösungen zur Realisierung aus.

		Die Studierenden bewerten nach Fertigstellung des Systementwurfs nach verschiedenen Kriterien (Größe, Geschwindigkeit=längster Pfad, Performance, Ästhetik, Code-Qualität) ihre und die anderen Entwürfe. Erschaffen Wegen der sehr knappen Auslegung der gegebenen Spezifikation der Systembeschreibung konzipieren die Studierenden ganz eigene, individuelle Lösungen für die Funktionsmodule und das Gesamtsystem. Lern- bzw. Methodenkompetenz Die Studierenden erlernen die Methodik zur Transformation einer Systemidee in eine digitale Realisierung. Sozialkompetenz Studierende erlernen, Problemstellungen in Gruppenarbeit gemeinsam zu lösen. Die Studierenden erarbeiten ihre Lösungen in Zweiergruppen und erläutern bzw. verteidigen diese in Kurzvorträgen gegenüber der Gesamtgruppe.
7	Prerequisites	dringend empfohlen: • Digitaltechnik (oder ähnliche Grundlagen-LV, z.B. TI-1) • V+Ü "Hardware-Beschreibungssprache VHDL" (oder andere gleichwertige LVen) • oder: nachgewiesene gute Kenntnisse/praktische Erfahrungen in VHDL, z.B. durch Praktikanten- oder Werkstudententätigkeit, intensives Eigenstudium, etc.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement unbenotet, während des Praktikums je Zweier-Gruppe: • 4 Zwischenpräsentationen (je 5 Min.) • 1 Abschlusspräsentation mit Demonstration (10 Min.) Nachbereitung je Zweier-Gruppe: • 1 schriftliche Versuchs-Dokumentation (3-5 Seiten)
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail) Praktikumsleistung: Erfüllung der Aufgabenstellung (60%), Präsentation der Ergebnisse (20%), Dokumentation der Ergebnisse (20%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Frickel J.; Skript der LV "Hardware-Beschreibungssprache VHDL" Xilinx; Handbuch Xilinx Vivado Lehmann G.; Wunder B.; Selz M.: Schaltungsdesign mit VHDL.

	Poing Franzis 1994 Bleck Andreas: Praktikum des modernen VLSI-Entwurfs. Stuttgart Teubner 1996

1	Module name 97520	Laborpraktikum Digitale Signalverarbeitung	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Walter Kellermann
5	Contents	In diesem Laborpraktikum wird die Theorie aus der Vorlesung Digitale Signalverarbeitung in der Praxis angewandt, unter Verwendung der Programmierungsumgebung MATLAB. Die behandelten Themen umfassen Quantisierung, Spektralanalyse, FIR- und IIR-Filterentwurf, Filterbänke, sowie adaptive Filter. Das Praktikum besteht aus 5 Versuchsterminen, an denen die Teilnehmer in Zweiergruppen Programmieraufgaben lösen, und einem 5-tägigen Block, in dem jede Gruppe ein individuelles Projekt aus dem Bereich der Digitalen Signalverarbeitung bearbeitet. Das Praktikum erfordert vorhandene MATLAB-Programmierkenntnisse. Es ist möglich, das Praktikum parallel zur Vorlesung Digitale Signalverarbeitung zu besuchen, allerdings ist es dazu notwendig, die jeweiligen Vorlesungsinhalte vor dem Praktikumstermin zu wiederholen, und an Übung und Tutorium teilzunehmen. *Contents* In this laboratory course the theory from the lecture Digital Signal Processing is applied in practice, using the programming environment MATLAB. The topics include quantization, spectral analysis, FIR and IIR filter design, filter banks and adaptive filters. The course consists of 5 guided experiments in which students work on programming problems in groups of two, and a 5-day block course where each group works on an individual project from the field of digital signal processing. The preparation, as well as the results of the past experiment will be examined by a short test at the beginning of each experiment. For passing the lab course, a minimum number of points from the tests and the project is required. The course requires previous experience in MATLAB programming. It is possible to take the course in parallel to the DSP lecture, however, revision of the relevant lecture contents before each lab lesson, and participation in the DSP exercises and tutorials is required.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erzeugen funktionsfähige MATLAB-Programme zu den einzelnen vorgezeichneten Experimenten und wenden damit das in Vorlesung und Übung erworbene Wissen an • analysieren und evaluieren den von ihnen implementierten Algorithmus • verstehen die Anforderungen praktischer Realisierungen von Algorithmen zur Digitalen Signalverarbeitung

		reflektieren ihren eigenen Lernprozess während des Praktikums.
7	Prerequisites	dringend empfohlen: Vorlesung Signale und Systeme I & II
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Es müssen 5 Versuche erfolgreich absolviert werden und danach in Zweier-Gruppen ein wissenschaftliches Projekt bearbeitet werden, worüber eine 3 bis 4-seitige Dokumentation angefertigt werden muss. Zu Beginn jedes Versuchs wird der Stand der Vorbereitung, sowie die Versuchsergebnisse des vergangenen Termins in einem schriftlichen Testat geprüft. Für das Bestehen des Praktikums ist eine Mindestpunktzahl aus den Testaten und dem Blockpraktikum nötig
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	The script for this lab course will be handed out at the introductory meeting. Moreover, the following books are recommended - J.G. Proakis, D.G. Manolakis: Digital Signal Processing. 4th edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2007. - A.V. Oppenheim, R.V. Schaffer: Digital Signal Processing. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1975. - K.D. Kammeyer, K. Kroschel: Digitale Signalverarbeitung: Filterung und Spektralanalyse mit MATLAB®-Übungen . 8. Aufl. Teubner, Stuttgart, 2012

1	Module name 97530	Laborpraktikum Eingebettete Mikrocontroller-Systeme (PEMSY) Laboratory course: Embedded microcontroller systems (PEMSY)	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Eingebettete Mikrocontroller-Systeme (Blockpraktikum) (3 SWS) Praktikum: Praktikum Eingebettete Mikrocontroller-Systeme (semesterbegleitend) (3 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Sebastian Klob	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger
5	Contents	Dieses Praktikum führt die Studierenden in das Gebiet der eingebetteten Mikrocontroller-Systeme ein. Basierend auf dem Stoff der Vorlesungen Digitaltechnik, Schaltungstechnik und Systemprogrammierung bearbeiten die Teilnehmer/-innen eine Problemstellung, die mittels einer Maschine" gelöst werden soll. Zusätzlich notwendiges Wissen wird vermittelt, damit diese Maschine" in 2er-Gruppen weitgehend selbständig aufgebaut werden kann. Verwendet wird eine vom Lehrstuhl selbst entwickelte Platine auf Basis des AVR ATmega32 mit einem LCD-Display und einem ISM-Funkmodul. Schrittweise erfolgt der Lötaufbau des USB-Programmieradapters und der Hardware-Plattform mit Blick auf das zu realisierende Gesamtsystem. Während die Programmiermodule immer umfangreicher werden, wird mit zunehmender Erfahrung der Teilnehmer/-innen das System auf einem Lochrasterfeld durch eigene Schaltungen ergänzt und erweitert. Als Besonderheit darf die entwickelte Maschine" nach dem Ende des Praktikums von den Teilnehmern behalten werden. Programmiert wird konsequent in C (und Inline-Assembler) und verwendet werden ausschließlich frei verfügbare Entwicklungshilfsmittel. Für einen kontinuierlichen Entwicklungsfortschritt im Zusammenspiel mit dem Hardwareaufbau ist es hierbei unerlässlich das bereits gewisse Erfahrungen in dieser Programmiersprache bestehen. Nach Abschluss des Praktikums sind die Teilnehmer/-innen in der Lage ein Mikrocontroller-System für den Einsatz in einem Mess- oder Steuerungsprojekt aufzubauen, effektiv zu programmieren und Daten über eine Kurzstreckenfunkübertragung auszutauschen.
6	Learning objectives and skills	Nach der Teilnahme an der Modulveranstaltung PEMSYP sind die Studierenden in der Lage die Konzepte und Verfahren der Mikrocontroller-Programmierung anzuwenden. Die Studierenden lernen dabei eigene Software für Mikrocontroller zu entwickeln. Sie lernen die Funktionsweise und den Einsatzzweck diverser Komponenten wie z.B. Strukturelemente und On-Chip-Peripherie am Beispiel des Mikrocontrollers ATmega32 zu verstehen. Dabei analysieren sie deren Zeitverhalten, entwickeln Methoden zum Anschluss von Peripherie-Elementen und bewerten Wechselwirkungen zwischen Hard- und Software.

		Die Studierenden sind weiterhin nach der Veranstaltung in der Lage, eine Entwicklungsumgebung für Mikrocontroller anzuwenden, sie lernen folgende Aspekte zu verstehen: • Software-Entwicklung unter Linux • Erzeugung von lauffähigem Code auf einem Mikrocontroller • Übertragung von Binärcode zum Mikrocontroller Im Rahmen des Aufbaus zweier Platinen werden zusätzlich folgende Inhalte vermittelt: • Löten an bedrahteten Bauelementen • Aufbau von einer Programmieradapterschaltung • Aufbau von einer Entwicklungsplattform mit integriertem Mikrocontroller und LCD-Display • Systematische Fehlersuche Durch die verwendeten Hard- und Software-Komponenten und generell gültigen Methodiken im Praktikum sind die erlernten Inhalte auch auf andere Mikrocontroller-Architekturen und Entwicklungssysteme übertragbar. Durch die Aufgabenstellungen des Praktikums sind die Studierenden später in der Lage, folgende Kommunikationsschnittstellen zu verstehen und eigene Treiber dafür zu entwickeln: • Serielle synchrone Datenübertragung (SPI) • serielle asynchrone Datenübertragung (UART) • parallele bidirektionale Datenübertragung über einen Bus Weiterhin sind die Studierenden nach dem Praktikum in der Lage folgende Kommunikationsprotokolle anzuwenden: • Befehlssatz des LCD Controllers HD44780 • Befehlssatz eines ISM Funkmoduls
7	Prerequisites	Empfohlen: • Die Beherrschung der Inhalte von Lehrveranstaltungen in einem ingenieurwissenschaftlichen Grundstudium, die in die Grundlagen der Informatik und Elektrotechnik einführen • Kenntnisse in der Programmiersprache C • Grundverständnis von Booleschen Operationen • Englischkenntnisse • Deutschkenntnisse
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Abschlusspräsentation mit Demonstration (10 Min.)
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester

15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Kernighan / Ritchie: The C Programming Language https://www.like.tf.fau.de/lehre/lehrveranstaltungen/

1	Module name 97640	Laborpraktikum Mobilkommunikation Laboratory course: Mobile communication	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Mobilkommunikation / Lab Course Mobile Communications - Group 1 (3 SWS) Praktikum: Praktikum Mobilkommunikation / Lab Course Mobile Communications - Group 2 (3 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker	

4	Module coordinator	apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker
5	Contents	Experiments ◦ Characteristics of real mobile radio channels such as distortions and time variability ◦ models for mobile radio channels ◦ effects on the performance of a mobile radio system ◦ Principles of different equalization methods ◦ equalizer design for GSM / EDGE ◦ simulation of trellis-based equalizers and visualization of the results ◦ Principle of OFDM ◦ implementation-relevant aspects such as nonlinearities and peak-to-average-power ratio ◦ synchronization and equalization • MIMO Transmission (2 experiments) Versuche ◦ Eigenschaften realer Mobilfunkkanäle wie Verzerrungen und Zeitvarianz, ◦ Modelle für Mobilfunkkanäle ◦ Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit eines Mobilfunksystems ◦ Prinzipien verschiedener Entzerrverfahren ◦ Entzerrerdesign für GSM/EDGE ◦ Simulation von trellisbasierten Entzerrern und Visualisierung der Ergebnisse ◦ Prinzip von OFDM ◦ implementierungsrelevante Aspekte wie Nichtlinearitäten und Spitzenwertfaktor ◦ Synchronisation und Entzerrung • MIMO Übertragung (2 Versuche)
6	Learning objectives and skills	The students • describe the characteristics of real mobile radio channels,

		• explain the principles of OFDM and MIMO transmission systems, • implement equalization and adaptation procedures in Matlab, • perform radio network simulations, • learn to develop program code, • work together in a small team. Die Studierenden • charakterisieren die Eigenschaften realer Mobilfunkkanäle, • erklären die Funktionsweise von OFDM- und MIMO-Übertragungssystemen, • implementieren Entzerrungs- und Adaptionungsverfahren in Matlab, • führen Funknetzsimulationen durch, • erlernen Programmcode eingeständig zu entwickeln, • arbeiten zielorientiert in einem kleinen Team zusammen.
7	Prerequisites	Vorkenntnisse aus Vorlesungen zu Nachrichtenübertragung (Communications) und Systemtheorie (Signals and Systems); Inhalte des Moduls "Mobile Communications" sind erforderliche Voraussetzung für eine sinnvolle Teilnahme;
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot der Technischen Fakultät oder der Naturwissenschaftlichen Fakultät Master of Science Information and Communication Technology 20222 Wahlmodule aus dem Angebot von EEI und Informatik Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement • There are 8 experiments to be completed as well as an introduction to Matlab. These are described in the course materials. • Each experiment is to be prepared in writing at home. The preparation is checked and evaluated (sufficient/not sufficient) at the beginning of each experiment. • The results of each experiment are to be kept on the experimental computers during the execution of the experiment (programming tasks) and are checked at the end of the experiment (sufficient/not sufficient). Measurement results are to be documented in writing. • To pass the course, 8 sufficient experiment preparations and 8 sufficient experiment executions are required. • Es sind 8 Versuche sowie eine Einführung in Matlab zu absolvieren. Diese sind in den Kursunterlagen beschrieben.

		• Jeder Versuch ist zu Hause schriftlich vorzubereiten. Die Vorbereitung wird zu Beginn eines jeden Versuchs überprüft und bewertet (ausreichend/nicht ausreichend). • Die Ergebnisse eines jeden Versuchs sind während der Versuchsdurchführung auf den Versuchsrechnern vorzuhalten (Programmieraufgaben) und werden zum Abschluss des Versuchs überprüft (ausreichend/nicht ausreichend). Messergebnisse sind schriftlich zu dokumentieren. • Zum Bestehen des Praktikums sind 8 ausreichende Versuchsvorbereitungen und 8 ausreichende Versuchsdurchführungen notwendig.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 35 h Independent study: 40 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	Skriptum zum Praktikum Mobilkommunikation

1	Module name 97651	Laborpraktikum Image and Video Compression Laborpraktikum Multimediakommunikation	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Lab Course Image and Video Compression (3 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Geetha Ramasubbu Marc Windsheimer	

4	Module coordinator	PD Dr. Christian Herglotz
5	Contents	• Einführung in die Programmierumgebung MATLAB • Realisierung der Verarbeitungsblöcke von Videocodern • Aufbau eines Videocodecs und optionale Erweiterungen • Durchführung eines subjektiven Vergleichs verschiedener Videocodecs • Präsentation und kritische Beurteilung der Ergebnisse
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erzeugen ein funktionsfähiges Programmsystem mit der Programmierumgebung MATLAB, • beurteilen die Funktionsblöcke von Video-Codern, • gestalten ihren eigenen Videocodec und entwickeln dazu von ihnen selbst gewählte optionale Erweiterungen, • bewerten die von ihnen realisierten Videocodecs durch einen subjektiven Vergleich, • reflektieren den Lernprozess während des Praktikums.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Das Praktikum umfasst zehn Sitzungen à vier Stunden plus zwei Sitzungen à zwei Stunden, die sieben Arbeitspakete, einen subjektiven Test und eine Abschlusspräsentation beinhalten. Jedes Arbeitspaket erfordert eine Vorbereitung in schriftlicher Form und wird vor Beginn jeder Sitzung geprüft und bewertet (bestanden/nicht bestanden). Während jeder der zehn obligatorischen Laborsitzungen müssen die Studierenden Programmieraufgaben bearbeiten, die am Ende jeder Sitzung überprüft werden (bestanden/nicht bestanden). Nach diesen zehn Programmiersitzungen muss ein funktionierender Videocodec abgegeben werden. Außerdem müssen die Studierenden an einem subjektiven Test teilnehmen, bei dem die Ergebnisse des Codecs bewertet werden. In der letzten Sitzung muss jeder Videocodec von den Studierenden präsentiert werden. Ein Zertifikat über die erfolgreiche Teilnahme am Labor wird ausgestellt, wenn alle Arbeitspakete ausreichend vorbereitet und umgesetzt wurden, die Ergebnisse aller Arbeitspakete zu einem funktionsfähigen und lauffähigen Videocodec zusammengefasst wurden, der für den subjektiven Test geeignet ist, der subjektive Videotest durchgeführt wurde und der fertige Videocodec bei der Abschlusspräsentation vorgestellt wurde.

11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Das Skriptum Praktikum Image and Video Compression wird in der Einführungsveranstaltung ausgegeben.

1	Module name 97720	Laborpraktikum Systematischer Entwurf programmierbarer Logikbausteine Laboratory course: Systematic design with programmable logic devices (PLD)	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum für systematischen Entwurf programmierbarer Logikbausteine (3 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Albert-Marcel Schrotz	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel
5	Contents	In diesem Praktikum wird eine Einführung in den systematischen Entwurf Programmierbarer Logikbausteine geben. Außerdem werden Grundkenntnisse in der Hardwarebeschreibungs- und Programmiersprache VHDL vermittelt. Auch alternative Eingabeformate, wie die Fuse-Map oder über Einfügen von Schaltplänen werden vorgestellt. Nach der Simulation werden die erstellten Programme auf realer Hardware, einem FPGA-Board, per In-System-Programmierung" getestet. Es besteht Anwesenheitspflicht.
6	Learning objectives and skills	• Die Studierenden erlangen grundlegende Kenntnisse in VHDL • Die Studierenden verstehen die der Hardware-Programmierung zu Grunde liegenden Systematik • Die Studierenden analysieren und vergleichen unterschiedliche Ansätze von Hardware-Beschreibungsmöglichkeiten • Die Studierenden vertiefen die Grundlagen der Digitaltechnik • Die Studierenden erlangen die Fähigkeit, einfache Problemstellungen systematisch in eine Hardwarebeschreibung umzusetzen
7	Prerequisites	Empfohlene Vorkenntnisse: Grundlagen digitaler Schaltungen
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement 1. Vorbereitung aller im Skript enthaltenen Versuche vor Besuch des Praktikums 2. Durchführung aller Versuche mit anschließender Abnahme durch den Betreuer 3. Vollständige und ausführliche schriftliche Dokumentation der Versuche und Beantwortung aller im Skript enthaltenen Fragen
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester

15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Tietze/Schenk: Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer Verlag

1	Module name 182405	Praktikum Architekturen der digitalen Signalverarbeitung Laboratory architectures for digital signal processing	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	• Aufbau einer akustischen FSK Datenverbindung • Einführung in die VHDL Programmierung eines FPGAs • Erzeugung einer PRBS Sequenz • Effiziente Implementierung eines Sinusgenerators mit Hilfe des Cordic Algorithmus • Digitale Filterung • Demodulation/Detektion
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden erlangen Grundlagenkenntnisse in der Programmierung mit MATLAB und VHDL Die Studierenden sind in der Lage, eine digitales Datenübertragungssystem vom Sender bis zum Empfänger theoretisch zu konzeptionieren, in MATLAB zu simulieren und praktisch in VHDL auf einem FPGA umzusetzen Die Studierenden erhalten die theoretische und praktische Fähigkeit, digitale Signale zu definieren, zu verarbeiten, digitale Filter zu erzeugen und Signale mit diesen zu manipulieren Die Studierenden verstehen die Schnittstelle zwischen der digitalen und analogen Ebene und sind in der Lage, diese Schnittstellen auf einem FPGA Evaluation Board zu verwenden
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Praktikumsleistung als Studienleistung (unbenotet): 2 Versuche ("Matlab Aufgaben" und "VHDL Aufgaben"). Je Versuch ist ein Protokoll (mit 3-5 Seiten) den erreichten Ergebnissen und dem funktionierenden selbständig erarbeitetem Programmcode abzugeben. Vor jedem Versuch erfolgt eine Überprüfung der ausreichenden Kenntnis der Versuchsbedingungen im Rahmen einer 5 minütigen mündlichen Prüfung
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h

14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 242643	Praktikum Photonik/Lasertechnik 1 Laboratory course: Photonics/Laser technology 1	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß
5	Contents	In kleinen Gruppen zu 2-3 Studierenden werden zehn Versuche zu folgenden Themen der Lasertechnik und Photonik durchgeführt: • *Geometrische Optik* - Fresnelgesetze - Chromatische Aberration • *HeNe-Laser* - Aktives Medium - Anschwingbedingung - Spektrum • *Gaußstrahl* - TEM00 - Abbildung durch Linsen • *Laser-Resonatoren* - g-Parameter Stabilitätsbereich • *Strahlqualität* - Multimode-Laser - Strahlparameterprodukt - Strahlprofil-Kamera • *Laserdioden* - FP,DFB,LED - Kennlinien - Abstrahlung - Spektrum • *Faseroptik* - Fasertypen - Moden - Dämpfung • *Singlemodefasern* - Fusionsspleißen - Laser einkoppeln Durch das Praktikum können theoretisch erworbene Kenntnisse, z.B. aus der Vorlesung Photonik 1, zu Lasern und Photonik durch vorlesungsbegleitende Experimente vertieft werden. Dies ist die Voraussetzung, um grundlegende laserbasierte Systeme in der Praxis einzusetzen, für viele Anwendungen in Wissenschaft und Technik. Derartige Systeme werden eingesetzt z.B. für die Präzisionsmesstechnik, in der industriellen Materialbearbeitung, in der Bioanalytik, für die Medizintechnik, in Geräten der Unterhaltungselektronik oder in der optischen Nachrichtentechnik.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen aufgrund praktischer Experimente Aufbau und Funktion grundlegender optischer, faseroptischer und photonischer Komponenten • können die genannten Komponenten und Systeme sowie Laser anwendungsnah handhaben und anwenden. • können photonische Messmethoden in der Praxis erproben und charakterisieren. • können durch praktische Erfahrung Eigenschaften unterschiedlicher Lichtwellenleiter und Laser vergleichen und einschätzen.
7	Prerequisites	Voraussetzung: Photonik 1, kann auch parallel gehört werden.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement

		Praktikumsleistung als Studienleistung (unbenotet): 8 Versuche, je Versuch ist ein Protokoll mit 5-10 Seiten abzugeben. Vor jedem Versuch erfolgt eine Überprüfung der ausreichenden Kenntnis der Versuchsbedingungen im Rahmen einer 5-10 minütigen mündlichen Prüfung
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Eichler, J., Eichler, H.J: Laser. 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2010. Reider, G.A.: Photonik. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2012. Bergmann, Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd.3: Optik. DeGruyter 2004. Saleh, B., Teich, M.C.: Grundlagen der Photonik. 2. Auflage, Wiley-VCH 2008. Träger, F. (Editor): Springer Handbook of Lasers and Optics, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2012.

1	Module name 380434	Praktikum Statistische Signalverarbeitung Lab course statistical signal processing	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 443121	Praktikum zu High-Performance Analog- und Umsetzer-Design Laboratory course: High-performance analog and converter design	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum zu High-Performance Analog- und Umsetzer-Design (3 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Ouadie Touijer	

4	Module coordinator	Benedict Scheiner Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel
5	Contents	Im Praktikum High-Performance Analog und Umsetzer Design wird ein Temperatursensor mit USB-Anschluss entwickelt. Die Teilnehmer müssen die einzelnen Schaltungsblöcke zuerst dimensionieren und simulieren, bevor die Schaltung auf einer Leiterplatte aufgebaut und gemessen wird. Im einzelnen sind folgende Blöcke zu untersuchen: • Temperaturstabilen Spannungsreferenz (Bandgap) • Präziser Instrumentenverstärker • Zeitkontinuierlicher Delta-Sigma Modulator • Nach Abschluss des Praktikums kann jeder Student seine eigene Platine mit nach Hause nehmen. Das Praktikum findet als einwöchige Blockveranstaltung während der Semesterferien im August/September statt. Die Anmeldung erfolgt über das WAS-System.
6	Learning objectives and skills	Nach der Teilnahme an den Modulveranstaltungen sind die Studierenden in der Lage, grundlegende Konzepte von Analogschaltungen und Umsetzern anzuwenden und auf Basis dieser einen Temperatursensor mit USB Anschluss zu entwickeln.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 508483	Praktikum Photonik/Lasertechnik 2 Laboratory course: Photonics/Laser technology 2	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Gruppe A (2 SWS) Praktikum: Gruppe B (2 SWS) Praktikum: Gruppe C (2 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Jasper Freitag	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß
5	Contents	In kleinen Gruppen zu 2-3 Studierenden werden acht Versuche zu folgenden Themen der Lasertechnik und Photonik durchgeführt: • Polarisierung - Doppelbrechung - Jones-Matrizen • Zeitliche Kohärenz - Michelson-Interferometer Linienbreiten • Räumliche Kohärenz - Beugung Doppelspalt • Leistungs-Laserdiode - Kennlinie Wellenlängenabstimmung • Lichtwellenmesstechnik - Wavemeter - OSA • EDFA - Erbium-dotierter Faserverstärker - Faser-Laser • Nd:YAG-Laser - Kennlinien - Resonator - Stabilität • Dynamik im Laser - Q-Switch - Spiking - Sättigbarer Absorber Anhand der Versuche wird gelernt, moderne und komplexe laserbasierte Systeme in der Praxis einzusetzen, als Voraussetzung für viele Anwendungen in Wissenschaft und Technik. Derartige Systeme werden eingesetzt z.B. für die Präzisionsmesstechnik, in der industriellen Materialbearbeitung, in der Bioanalytik, für die Medizintechnik, in Geräten der Unterhaltungselektronik oder in der optischen Nachrichtentechnik.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • vertiefen ihre wissenschaftlichen Kenntnisse im Bereich der komplexer photonischer Systeme durch praktische Experimente. • können fortgeschrittene technische und wissenschaftliche Experimente im Bereich Photonik / Lasertechnik selbstständig und in kooperativen Gruppen planen, durchführen und reflektieren. • können Sachverhalte und Ergebnisse der im Inhalt beschriebenen Experimente bewerten und vergleichen. • sind in der Lage, eigenständig Ideen zur Lösung komplexer technisch-wissenschaftlicher Messaufgaben im Bereich der Photonik und Lasertechnik zu entwickeln.
7	Prerequisites	• Photonik 1 • Photonik 2 (kann vorlesungsbegleitend besucht werden)
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)

12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Träger, F. (Ed.): Handbook of Lasers and Optics, Springer Verlag, Berlin 2007. Eichler/Eichler: Laser. Springer Verlag, Berlin 2006. Reider, G.A.: Photonik. Springer Verlag, Berlin 2003. Bergmann, Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd.3: Optik. DeGruyter 1993.

1	Module name 631385	Praktikum Hochfrequenztechnik/Mikrowellentechnik 2 Laboratory on microwave technology 2	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Hochfrequenztechnik/ Mikrowellentechnik 2 Gruppe 1 (3 SWS) Praktikum: Praktikum Hochfrequenztechnik/ Mikrowellentechnik 2 Gruppe 2 (3 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Jan Steffen Schür	

4	Module coordinator	Dr.-Ing. Jan Steffen Schür	
5	Contents	Theoretisch erworbene Kenntnisse, z.B. aus der Vorlesung Hochfrequenztechnik 2, zu HF-Messtechnik, aktiven HF-Bauteilen und HF-Simulationstechnik werden durch vorlesungsbegleitende Experimente im Praktikum vertieft. In Kleingruppen zu 2-3 Studierenden werden acht Versuche zu folgenden Themen der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik durchgeführt: • Hochfrequenzverstärker • Mischer und Frequenzvervielfacher • Hochfrequenzoszillatoren • Rechnergestützter HF-Schaltungsentwurf • 3D-Feldsimulation von HF-Komponenten • Antennenentwurf • Verstärkerentwurf • Satellitenfunk Derartige Systeme werden eingesetzt z.B. für Radaranwendungen, in einer Vielzahl von drahtlosen Kommunikationsanwendungen, im Automobilbereich und im industriellen Umfeld der HF-Messgeräteentwicklung und Materialcharakterisierung. Durch das Praktikum erhalten die Studierenden einen praktischen Einblick in die wichtigsten Arbeitsgebiete der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik.	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • können theoretisch erworbene Kenntnisse, z.B. aus der Vorlesung Hochfrequenztechnik 2, zu HF-Messtechnik, aktiven HF-Bauteilen und HF-Simulationstechnik durch vorlesungsbegleitende Experimente analysieren und evaluieren. • können modernste HF-Messtechnik und Simulationssoftware anwenden und Ergebnisse vergleichen. • sind in der Lage, wichtige Bauelemente wie z. B. Oszillatoren und Verstärker einzusetzen und zu analysieren • evaluieren die technische und wissenschaftliche Bedeutung aktiver HF-Geräte in der Praxis. Sie sind damit in der Lage, komplexe HF-Systeme in der Praxis zu erschaffen und zu dimensionieren, die als Voraussetzung für viele Anwendungen in Wissenschaft und Technik gelten.	
7	Prerequisites	• Hochfrequenztechnik	

		HF-Schaltungen und Systeme (Praktikum vorlesungsbegleitend)
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Zinke, O., Brunswig, H., Hochfrequenztechnik 1, Springer Verlag, Berlin, 1999 Meinke, H. H., Grundlach, F.-W., Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, Springer Verlag, Berlin, 1992

1	Module name 878210	Praktikum Machine Learning in der Signalverarbeitung Lab course machine learning in signal processing	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Lab Course Machine Learning in Signal Processing (4 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Marc Hölle Prof. Dr. Vasileios Belagiannis Rohan Asthana Michele De Vita	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	This is an advanced level lab course in machine learning. Imagine a car driving on an autobahn in an automatic mode. Among other things, the car needs to steer itself to keep driving in it's own lane. To accomplish this, the central problem is to detect the road-lane markings. These are the white solid or dashed lines that are drawn on each side of the lane. The standard modern approach to solve this type of problems is to take a large dataset of labeled examples and train a deep neural network model to accomplish the task. This is how car and pedestrian detection algorithms are developed. The difficulty with the road-lane markings is that there is no labeled dataset of them and creating such dataset would cost millions of dollars. In this lab course we will solve this problem using transfer learning and mathematical modeling: • Create cartoon-like artificial images of a road with known locations for the lane markings. • Train deep neural network on these artificial images with heavy data augmentations that mimic real-world images. • Create a dataset of unlabeled real-life videos by downloading and organizing examples from youtube. • Create a machine learning pipeline for working with these videos efficiently. • Apply the neural network that has been trained on artificial data to the real world videos. • Analyze the quality of results produced by the network. • Use mathematical modeling to correct the outputs of the network. • Retrain the network on the dataset composed of the corrected outputs. • Measure and analyze the quality of the results. The software will be written in Python using JupyterLab development framework. Access to modern GPU server will be provided. The best students will have the opportunity to contribute to the creation of state-of-the-art lane detection system for self-driving cars during or after the course.
6	Learning objectives and skills	Students are able to:

		- Independently design machine learning pipelines to solve complex problems in artificial intelligence. - Choose appropriate algorithms for the problem at hand. - Use standard packages for machine learning in Python: numpy, cvxpy, scikit-learn, pywavelets, pytorch. - Debug and calibrate machine learning algorithms. Develop modification to the standard algorithms as appropriate to the problem at hand. - Explain the theoretical aspects of deep learning.
7	Prerequisites	Knowledge of Python programming language is required. Basic theoretical knowledge in machine learning is assumed: consider taking the Machine Learning in Signal Processing (MLSIP) course in the same semester.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Zum Bestehen des Praktikums müssen die Programmieraufgaben der 5 Versuche erfolgreich bearbeitet werden.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 15 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	1) Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning. 2) Friedman, J., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2001). The elements of statistical learning. 3) Raschka, S., Liu, Y. H., Mirjalili, V., & Dzhuigakov, D. (2022). Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn: Develop machine learning and deep learning models with Python.

1	Module name 894349	Audio Processing Laboratory Audio processing laboratory	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Audio Processing Laboratory (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Herre Prof. Dr. Emanuël Habets Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler Prof. Dr. Meinard Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Meinard Müller
5	Contents	This lab course offers a general introduction to Python and possibly also to other languages (MATLAB, R, ...). In particular, functions, transforms, and algorithms that are important for analyzing and processing audio signals are covered. After a general part, the lab course will allow the participants to delve into a more specific application within audio and acoustic signal processing.
6	Learning objectives and skills	The goal of this lab course is to acquire a deeper understanding of audio processing techniques by experimenting with, modifying and extending existing code. Furthermore, programming skills in Python and possibly also in other languages (MATLAB, R, ...) are acquired. The students understand and implement computer programs for specific experiments described in the script accompanying the lab. They test and evaluate their programs by conducting a series of experiments within the field of audio signal processing. They understand the requirements of practical realizations, synthesize a solution for a given problem, and apply advanced disciplinary knowledge and skills in signal processing. The students evaluate and interpret results by applying various visualization techniques and statistical methods. They collaborate with fellows students, discuss their solutions, give feedback to each other, and reflect upon the underlying theory as well as implementation issues.
7	Prerequisites	This lab course requires a good understanding of basic principles in signal processing and some basic programming skills. Furthermore, it is beneficial to have some background in one of the more specific topics offered by the International Audio Laboratories Erlangen.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement The lab course consists of four lab units. Each unit is presented for 15 minutes per participant, and is graded with up to three points. In order to pass the lab course, a total of at least 6 points must be achieved, with at least 1 point in each individual unit.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)

12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	

1	Module name 504311	Praktikum Mixed-Signal-Entwurf Laboratory course: Mixed-signal design	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Mixed-Signal-Entwurf (3 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Feim Ridvan Rasim Tobias Rumpel Xingzhou Chen	

4	Module coordinator	Peter Meisel Prof. Dr.-Ing. Sebastian Sattler
5	Contents	In dem Praktikum wird in Gruppenarbeit ein integrierter CMOS Verstärker entworfen. Ausgehend von einer vorgegebenen Spezifikation wird das Modell auf Systemebene und Schaltungsebene erarbeitet, und mit Hilfe von Simulation validiert. Die Aufgabenstellung wird mit Unterstützung der Cadence Software gelöst, und schließt mit dem Layout der Schaltung ab. Das Praktikum wird in Gruppen durchgeführt • Schaltungsentwurf • Simulation • Layout
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden arbeiten an den folgenden Fachkompetenzen Verstehen • klassifizieren Charakterisierungsmethoden und Herstellungsverfahren aus der Mikroelektronik • erklären typische Werkzeuge und Verfahren für die Verifikation und den Entwurf mikroelektronischer Schaltungen Anwenden • analysieren grundlegende mikroelektronische Schaltungen Erschaffen • erstellen aus einer gegebenen Aufgabenstellung eine komplette Schaltung mit Layout Lern- bzw. Methodenkompetenz • erwerben praktische Erfahrungen mit typischen Werkzeugen und Verfahren für die Verifikation und den Entwurf mikroelektronischer Schaltungen Selbstkompetenz • können in Gruppen kooperativ arbeiten und Schaltung / Layout beurteilen und gegebenenfalls verbessern
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Praktikumsleistung: durchgängige Teilnahme am Praktikum Erstellung eines Praktikumsberichts mit 10 bis 20 Seiten Umfang
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail) keine Benotung (mit oder ohne Erfolg am Praktikum teilgenommen)

12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 837918	SoC-Entwurf Design of SoCs	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Joachim Falk Dr.-Ing. Stefan Wildermann
5	Contents	Ein Systems-on-a-Chip (SoC) besteht aus einem oder mehreren Prozessoren sowie weiteren Komponenten, wie Speicher, Bussen, Co-Prozessoren, Hardware-Beschleunigern und IP-Cores, welche auf einem einzelnen Chip realisiert werden. Das Praktikum behandelt die Grundlagen zum Entwurf von SoCs. Dabei werden grundlegende Methoden sowie ausgewählte Werkzeuge und Programmiersprachen vorgestellt. Der Inhalt wird in Fachvorträgen sowie praktischen Übungen vermittelt. Außerdem wird exemplarisch ein SoC auf einer FPGA-Plattform betrachtet.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Die Studierenden verstehen den Entwurfsfluss zur Umsetzung von SoC-Systemen durch FPGAs unter Verwendung moderner CAD-Tools und VHDL. - Die Studierenden verstehen den Einsatz von IP-Cores. - Die Studierenden erlernen den Entwurf von SoC-Systemen auf eine individuelle Aufgabestellung anzuwenden. - Die Studierenden entwerfen eigene IP-Cores bzw. VHDL-Module. Selbstkompetenz - Die Studierenden schätzen ihre individuellen Stärken ein, um eine geeignete Arbeitsaufteilung innerhalb der Gruppe festzulegen. Sozialkompetenz - Die Studierenden erlernen die Fähigkeit, SoC-Systeme mit Hilfe moderner CAD-Tools im Team zu konzipieren und zu implementieren.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)

		Zur Anerkennung des Praktikums ist die erfolgreiche Teilnahme an den Praktikumsterminen und die erfolgreiche Bearbeitung aller Praktikumsaufgaben verpflichtend.
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 45 h Independent study: 30 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 97525	Laborpraktikum Bild- und Videosignalverarbeitung auf eingebetteten Plattformen Laboratory course: Image and video signal processing on embedded platforms	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup
5	Contents	Betrachtet man Anwendungen der Bild- und Videosignalverarbeitung stellt man fest, dass viele davon auf mobilen Plattformen ablaufen. Die dort verwendeten Systeme haben aber häufig nur eine reduzierte Leistungsfähigkeit und müssen besonders auf den Energieverbrauch achten. Nichtsdestotrotz sind aber auch einfache, mobile Systeme wie Smartphones oder Tablets in der Lage, anspruchsvolle Signalverarbeitungsaufgaben für Bild- und Videosignale durchzuführen. Dies umfasst zum Beispiel die Codierung von Bildern und Videos, aber auch die Erzeugung von Panoramen oder die Berechnung von Bildern mit hohem Dynamikumfang. Das Praktikum Bild- und Videosignalverarbeitung auf eingebetteten Plattformen" soll die Herausforderung, die mit einer Verarbeitung dieser Signale auf eingebetteten Plattformen einhergehen genauer vermitteln und es wird aufgezeigt, wie man selbst auf Plattformen mit eingeschränkter Leistungsfähigkeit entsprechende Algorithmen umsetzen kann. Hierzu werden in dem Praktikum Raspberry Pis als Plattform verwendet und die Programmierung erfolgt in Python. Die Versuche umfassen den Aufbau und die Inbetriebnahme der eingebetteten Plattform, eine Einführung in Python und in die grundlegenden Prozesse der Bild- und Videosignalverarbeitung. Weitere Versuchsinhalte sind die Anbindung einer Kamera, Bildsignalverarbeitungsprozesse mit der Kamera und die Implementierung verschiedener digitaler Filter. Das Praktikum beinhaltet außerdem verschiedene Anwendungen computergestützten Sehens (Computer Vision). Die Detektion von Merkmalen und Objekten in Bildern und Videos werden einführend behandelt und aktuelle Computer Vision Anwendungen, wie die Erstellung eines Panoramas werden betrachtet.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • verstehen die Herausforderungen von eingebetteten Plattformen • wenden die Programmiersprache Python für Bild- und Videosignalverarbeitungsalgorithmen an • erzeugen funktionsfähige Programme mit der Programmiersprache Python • beurteilen die Funktionsblöcke von Computer Vision-Algorithmen

		• bewerten die von ihnen erstellten Programme durch subjektive und objektive Vergleiche • reflektieren den Lernprozess während des Praktikums.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Das Praktikum basiert auf neun Versuchen, die im Praktikums-Skript beschrieben sind. Jeder Versuch muss zu Hause vorbereitet werden und wird vor jedem Versuch überprüft. Die Ergebnisse der vorbereiteten Aufgaben im Praktikum werden am Ende des Versuchs überprüft. Dazu müssen die Teilnehmenden die erarbeiteten Lösungen den Tutoren erläutern. Das Praktikum ist bestanden, wenn alle neun Versuche erfolgreich abgeschlossen wurden.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 15 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Das Skript zum Praktikum Image and video signal processing on embedded platforms" wird in der Einführungsveranstaltung ausgegeben.

1	Module name 93511	Praktikum Digitale Übertragung Digital communication Lab	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum: Praktikum Digitale Übertragung / Lab Course Digital Communications - Afternoon Group (3 SWS) Praktikum: Praktikum Digitale Übertragung / Lab Course Digital Communications - Morning Group (3 SWS)	2,5 ECTS 2,5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Robert Schober	
5	Contents	• 1 Digital Transmission of Data 1.1 Introduction, Background, Motivation 1.2 Purpose 1.3 Lab Environment 1.3.1 Transmitter 1.3.2 Receiver 1.4 Lab Exercises 1.4.1 Signal Generation at the Transmitter 1.4.2 (Coherent) Receivers for Pulse Amplitude Modulation 1.4.3 Transmission over the AWGN Channel • 2 Implementation of Transmitter and Receiver in Matlab 2.1 Introduction, Background, Motivation 2.2 Purpose 2.3 Lab Environment 2.3.1 Oversampling factor 2.3.2 Transmitter 2.3.3 Channel 2.3.4 Receiver 2.4 Lab Exercises 2.4.1 Transmitter 2.4.2 Channel 2.4.3 Receiver 2.4.4 BER calculation • 3 Variants of PAM-Transmission Schemes 3.1 Introduction, Background, Motivation 3.2 Purpose 3.3 Lab Environment 3.4 Lab Exercises 3.4.1 Basic Pulse Shape 3.4.2 Offset-QAM 3.4.3 Gaussian Minimum Shift-Keying 3.4.4 "Carrierless Amplitude and Phase Modulation • 4 OFDM 4.1 Introduction, Background, Motivation 4.1.1 Orthogonal Frequency-Division Multiplexing 4.1.2 Bit Loading 4.2 Purpose 4.3 Lab Environment 4.4 Lab Exercises 4.4.1 OFDM Transmitter 4.4.2 OFDM Receiver 4.4.3 Bit Loading • 5 Signal Space Representation 5.1 Introduction, Background, Motivation 5.2 Purpose 5.3 Lab Environment 5.4 Signal Space Representation 5.4.1 Orthogonality 5.4.2 Orthogonalization 5.5 Lab Exercises 5.5.1 Transmission with signal elements 5.5.2 Gram-Schmidt Procedure 5.5.3 Frequency Shift Keying • 6 Signal Processing in MIMO Systems 6.1 Introduction, Background, Motivation 6.2 Lab Environment 6.3 Lab Exercises 6.3.1 System Model 6.3.2 SISO 6.3.3 SIMO 6.3.4 MIMO	
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden vertiefen und erweitern ihre Kenntnisse der digitalen Nachrichtenübertragungsverfahren und der zugehörigen mathematischen Grundlagen anhand von Laborversuchen. Sie analysieren die Eigenschaften digitaler Pulsamplitudenmodulation und Varianten digitaler PAM. Dazu erzeugen sie im Labor mit der zur Verfügung gestellten Ausrüstung Sendesignale, die sie mit Hilfe üblicher Messgeräte (Oszilloskop, Effektivwertmesser) analysieren. Sie bauen Übertragungsstrecken für diese PAM-Verfahren auf und untersuchen die	

Effekte auf Empfängerseite. Sie bestimmen Störabstände, Fehlerraten usw.

Des Weiteren setzen die Studierenden ihre Kenntnisse der PAM-Übertragungsverfahren in selbst erstellte MATLAB-Routinen um, die die Simulation einer kompletten PAM-Übertragung mit Sender, Kanal und Empfänger am Rechner modellieren. In einem weiteren Versuch ergänzen die Studierenden dieses Modell um eine OFDM-Übertragung und analysieren die Funktionsweisen von OFDM-Sendern und -empfängern. Sie untersuchen die Arbeitsweise von Ladealgorithmen bei OFDM-Systemen und implementieren diese in MATLAB.

Die Studierenden verdeutlichen sich das Konzept der Signalraumdarstellung in der digitalen Übertragung und implementieren ein beispielhaftes System in MATLAB. Sie erstellen Routinen zur Gram-Schmidt-Orthogonalisierung und zur FSK-Übertragung in MATLAB.

Die Studierenden analysieren einfache MIMO-Szenarien und implementieren entsprechende Empfängeralgorithmiken.

Die Studierenden bereiten die Bearbeitung der Versuche im Labor anhand der ausgegeben Unterlagen und den Unterlagen zum Modul "Digitale Übertragung selbständig vor. Sie sind in der Lage, die für den jeweiligen Versuch notwendigen theoretischen Kenntnisse vor und während des Versuchs zu erklären und zur Lösung der Laboraufgaben und vorbereitenden Hausaufgaben einzusetzen. Sie dokumentieren die durchgeführten Versuche selbständig in ihren Unterlagen, so dass die Nachvollziehbarkeit der Arbeiten jederzeit gegeben ist. Die Arbeit im Labor organisieren sie in Kleingruppen (2-3 Personen) selbst. Sie erkennen die Notwendigkeit gewissenhafter Vorbereitung der Lerninhalte und disziplinierter Arbeitsweise im Labor.

Die Unterrichtssprache ist wahlweise Deutsch oder Englisch. Unterlagen werden ausschließlich auf Englisch zur Verfügung gestellt, weswegen die Studierenden die englischen Fachtermini kennen und nutzen.

Students deepen and extend their knowledge of digital message transmission methods and the associated mathematical principles by means of laboratory experiments. They analyze the properties of digital pulse amplitude modulation and variants of digital PAM. To this end, they generate and transmit signals in the laboratory using the equipment provided and analyze them with the aid of standard measuring instruments (oscilloscope, rms meter). They build transmission links for these PAM methods and investigate the effects on the receiver side. They determine signal-to-noise ratios, error rates, etc.

Furthermore, the students implement their knowledge of the PAM transmission methods in self-created MATLAB routines, which model the simulation of a complete PAM transmission with transmitter, channel and receiver on the computer. In another experiment, students add an OFDM transmission to this model and analyze the operation of OFDM transmitters and receivers. They investigate the operation of loading algorithms in OFDM systems and implement them in MATLAB.

Students clarify the concept of signal space representation in digital transmission and implement an example system in MATLAB.

		They create routines for Gram-Schmidt orthogonalization and FSK transmission in MATLAB. Students analyze simple MIMO scenarios and implement corresponding receiver algorithms. The students independently prepare the experiments in the laboratory using the issued documents and the documents for the module "Digital Transmission". They are able to explain the theoretical knowledge required for the respective experiment before and during the experiment and use it to solve the laboratory tasks and preparatory homework. They independently document the experiments carried out in their records so that the supervisors can trace the work at any time. They organize the work in the laboratory themselves in small groups (2-3 persons). They recognize the necessity of certain preparation of the learning content and disciplined working methods in the laboratory. The language of instruction is either German or English. Documents are provided exclusively in English, which is why the students know and use the English technical terms.
7	Prerequisites	Das Praktikum richtet sich ausschließlich an Studierende, die das Moduls "Digitale Übertragung bereits absolviert haben oder es parallel zum Praktikum belegen. Die Inhalte dieses Moduls sind unabdingbare Grundlage und werden von den Studierenden beherrscht, d.h., sie können die entsprechenden Zusammenhänge erklären, Problemstellungen mathematisch formulieren und benötigte Größen berechnen. Grundlegende Kenntnisse der Software MATLAB sind notwendig (bspw. aus "Software für die Mathematik" oder "Simulationstools"). The lab course is aimed exclusively at students who have already completed the "Digital Transmission" module or who are taking it in parallel with the lab course. The contents of this module are an indispensable basis and are mastered by the students, i.e. they can explain the corresponding relationships, formulate problems mathematically and calculate required quantities. Basic mastery of the MATLAB software is necessary
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Praktikum oder Projektarbeit Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement • There are 5 experiments to complete as well as an online test on Matlab knowledge and basic knowledge of digital communications. The details are described in the course materials. • Each experiment must be prepared in writing at home. The preparation will be checked and evaluated at the beginning of each experiment (sufficient/insufficient). • The results of each experiment must be recorded on the experimental computers during the execution of the experiment (programming tasks) and are checked at the end of the experiment (sufficient/insufficient). The measured results must be documented in writing.

		- To pass the course, 5 sufficient experiment preparations, 5 sufficient experiment executions and the passed asynchronous online test are required. - Es sind 5 Experimente zu absolvieren sowie vorab ein Online-Test zu Matlab-Kenntnissen und Grundkenntnissen in digitaler Kommunikation. Die Einzelheiten sind in den Kursunterlagen beschrieben. - Jedes Experiment muss zu Hause schriftlich vorbereitet werden. Die Vorbereitung wird zu Beginn eines jeden Experiments überprüft und bewertet (ausreichend/nicht ausreichend). - Die Ergebnisse jedes Experiments sind während der Durchführung des Experiments auf den Versuchsrechnern festzuhalten (Programmieraufgaben) und werden am Ende des Experiments kontrolliert (ausreichend/nicht ausreichend). Die gemessenen Ergebnisse sind schriftlich zu dokumentieren. - Zum Bestehen des Kurses sind 5 ausreichende Versuchsvorbereitungen, 5 ausreichende Versuchsdurchführungen sowie der bestandene asynchrone Online-Test erforderlich.
11	Grading procedure	Practical achievement (pass/fail)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	- Skriptum zum Praktikum - Skriptum zur Vorlesung Digitale Übertragung bzw. Digital Communications - übliche Standardlehrwerke zur Thematik (Proakis, Haykin usw.)

Seminar

1	Module name 47643	Seminar Advanced Algorithms in Medical Image Processing Seminar: Advanced algorithms in medical image processing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andreas Maier
5	Contents	Deep Learning-based algorithms showed great performance in many fields of image processing and pattern recognition and compete with technologies such as compressive sensing and iterative optimization. The basis for the success of these algorithms is the availability of large amounts of data (big data) for training and of high computing power (typically GPUs). In this seminar, we try to explore advanced deep learning methods. In particular, we will aim to develop a deeper understanding of certain topics, for example, graph neural networks, unsupervised learning, differentiable learning, invertible learning, neural ordinary differential equations, transfer learning, multi-task learning, uncertainty DL, etc.
6	Learning objectives and skills	Students will be able to • perform their own literature research on a given subject • independently research this subject • present and introduce the subject to their student peers • give a scientific talk in English according to international conference standards
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 47675	Seminar Meta Learning Seminar: Meta learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 93656	Seminar Energieinformatik Seminar: Energy informatics	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Marco Pruckner
5	Contents	Teilnehmende arbeiten sich selbständig anhand der ausgewählten wissenschaftlichen Literatur in ein vorgeschlagenes Thema aus dem Bereich der Energieinformatik ein, erstellen dazu eine schriftliche Ausarbeitung, bereiten einen Seminarvortrag vor und präsentieren ihn vor Lehrenden, interessierten wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts und Kommilitonen der Lehrveranstaltung.
6	Learning objectives and skills	Zu den zu erwerbenden Kompetenzen zählen • die Literaturrecherche, • korrektes Zitieren, • die Fähigkeit auszuwählen, welche Aspekte in der Ausarbeitung und im Vortrag behandelt werden, • zielgruppengerechtes Schreiben, • die Verwendung von Textverarbeitungswerkzeugen für die Präsentation und die Ausarbeitung, • sicheres Auftreten beim Vortragen eines wissenschaftlichen Themas sowie • fachspezifische Fragen zum ausgewählten Themengebiet zu beantworten. Am Ende jeder Lehreinheit • stellen die Teilnehmenden gezielt Fragen zum vorgetragenen Thema, • diskutieren über fachliche Aspekte der Präsentation, • üben konstruktive Kritik an der Darstellung des Themas und • bewerten die Präsentation aus vortragstechnischer Sicht.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german

16	Bibliography	• gesammelte Bücher, Artikel und Weblinks zu einem einschlägigen Themengebiet • Marco Pruckner. Allgemeine Hinweise zu Seminarvorträgen und -ausarbeitungen.

1	Module name 96970	Seminar Visual Computing Seminar: Visual computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Tobias Günther Prof. Dr. Tim Weyrich
5	Contents	This seminar covers advanced topics in visual computing, including both seminal research papers, as well as the latest research results. The seminar provides an opportunity to obtain a comprehensive overview of research questions in visual computing, as well as allows students to dive deeper into a chosen topic. Each student presents one scientific publication and explains its content to fellow students taking the course. Thereby, students practice their argumentation and presentation skills. For each paper, a supervisor is provided, who answers questions and gives pointers on the presentation slide design. The seminar is concluded with a short written report. The main topics include: • human performance capture (faces, eyes, speech), • animation (motion controllers, speech synthesis, shape modelling) • fabrication (caustic design, robot design), • appearance modelling (subsurface scattering), • Monte Carlo rendering (importance sampling, participating media), • differentiable rendering (neural rendering, inverse rendering), • denoising (non-local means and deep learning), • physics simulation (fluid simulation) The seminar contains the paper presentations by the students and introductory lectures on scientific dissemination. Grading Each student presents a paper, which is selected from a set of papers in the first session. The presentation duration is 30 minutes with an additional 10 minutes for questions. Presentations begin approximately 3-4 weeks after the start of the semester. The presentation contributes to 70% of the final grade. A written report with a duration of 5-10 pages constitutes the remaining 30%, for which a LaTeX template is provided. The presentation time slots are grouped by topic and cannot be chosen. An important aspect of the grading is the subsequent discussion. To spur discussions, students are encouraged to write a brief abstract about each paper, which can be uploaded on StudOn before the presentation. The voluntary abstracts are graded and if more than 80% of the available points are reached the final grade is improved by 0.3 or 0.4 grade points, respectively.
6	Learning objectives and skills	Students learn to: • present current research topics in visual computing

		• perform a thorough literature review • cite scientific literature correctly • comprehend scientific texts • improve their presentation and argumentation skills • practice scientific writing
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	

1	Module name 97760	Hauptseminar Ausgewählte Kapitel der Informationstechnik (Kommunikationselektronik)	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Hauptseminar: Ausgewählte Kapitel der Informationstechnik: Integrierte Sender- und Empfängerschaltungen (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Heinrich Milosiu	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger
5	Contents	Sommersemester: Integrierte Sender- und Empfängerschaltungen Im SS werden integrierte Sender- und Empfängerschaltungen behandelt. Studenten sollen einen Einblick in die Technologieauswahl und den Schaltungsentwurf von Schlüsselkomponenten bekommen. Die Vortragsreihe beginnt mit Übersichtsthemen zu Empfängerarchitekturen und Halbleiter-Technologien sowie Simulationswerkzeugen für die Integration von RF-Schaltungen. Mit wechselnden Schwerpunkten auf verschiedenen Funkstandards, Halbleitertechnologien oder Frequenzbereichen werden integrierte RF-Schaltungen behandelt. Je nach Schwerpunkt sollen Schlüsselkomponenten wie rauscharme Verstärker, Mischer, spannungsgesteuerte Oszillatoren und Leistungsverstärker oder komplette Sender- und Empfängerschaltungen erörtert werden. Ein Besuch der Abteilung Analoges IC-Design des Fraunhofer-IIS rundet das Seminar ab. Wintersemester: Digitaler Rundfunk Im Seminar „Digitale Rundfunksysteme“ werden ausgewählte Themen zu neuen terrestrischen und satellitengestützten digitalen Rundfunksystemen behandelt. Das Seminar startet mit einem historischen Exkurs in die Entwicklungsgeschichte des Radios und der Entwicklung des analogen Rundfunks in Deutschland sowie einer Einführung in die weltweit existierenden terrestrischen und satellitengestützten digitalen Rundfunksysteme. Mit wechselnden Schwerpunkten werden neue Dienste sowie die technischen Komponenten, Übertragungs- und Datenprotokolle sowie neue Standards entlang der gesamten Übertragungskette vom Quellensignal über den Hochfrequenzkanal bis zum Empfänger behandelt. Ein Besuch bei funklust (ein Zusammenschluss der drei studentischen Medieninitiativen Campusradio bit express, Uniradio Unimax und dem Video-Format t*fau an der FAU), sowie Fachvorträge von externen Experten mit Diskussion zu neuen Entwicklungen runden das Seminar ab.
6	Learning objectives and skills	1. Die Studierenden sollen lernen, sich ein wissenschaftliches Thema selbständig zu erarbeiten und eine didaktisch durchdachte Präsentation vorzubereiten. 2. Die Studierenden sollen lernen unter Einhaltung von Zeitvorgaben, Ihre Erkenntnisse publikumsangepasst zu vermitteln.

		3. Die Studierenden sollen Ihre verbale sowie nonverbale Kommunikation weiterentwickeln. 4. Die Studierenden sollen ansatzweise lernen, wie eine wissenschaftliche Veröffentlichung aussehen sollte. Dies alles geschieht im Rahmen des unter Seminarinhalte ausgeführten Themenbereichs. Die Leistungen werden im Zusammenhang mit dem individuellen Thema des/ der Studierenden erbracht.
7	Prerequisites	Keine formalen Voraussetzungen. Empfohlen werden ausdrücklich mindestens 4 Semester Bachelor-Studium in EEI, Informatik oder IuK.
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	Wird je nach Schwerpunktwahl des Seminars neu festgelegt.

1	Module name 97770	Hauptseminar Ausgewählte Kapitel der Navigation und Identifikation	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Hauptseminar: Ausgewählte Kapitel der Navigation und Identifikation: Radio-/ Hochfrequenz-Identifikationssysteme (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Sebastian Klob	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Albert Heuberger Prof. Dr. Jörn Thielecke
5	Contents	Sommersemester: Radio-/ Hochfrequenz-Identifikationssysteme (RFID) Das Themenspektrum des Seminars im Sommersemester besitzt als Schwerpunkt die Bereiche Radio-/Hochfrequenz-Identifikationssysteme (RFID) und Telemetrie. Während des ersten Seminartermins werden den Studierenden Betreuer und Themen zugeteilt, wobei die Themen im Forschungsbereich des jeweiligen Betreuers liegen. Mit Unterstützung des Betreuers wird ein 30-minütiger Vortrag ausgearbeitet, der im Laufe des Seminars vorgetragen werden muss. Zusätzlich ist eine sechsstufige Ausarbeitung zu schreiben, die wissenschaftlichen Gesichtspunkten genügen muss. Ein fünfminütiger Probevortrag bietet die Möglichkeit, vor dem eigentlichen Vortrag eine Rückkopplung über den eigenen Vortragsstil zu erhalten und die Zielsetzung des Seminars besser zu verstehen. Probevorträge und die Vorträge selbst (30 Min.) werden mit der Kamera aufgezeichnet, um anschließend den Vortragsstil besser diskutieren zu können. Wintersemester: Roboternavigation Thematisch befasst sich das Seminar mit der Navigation von Robotern bis hin zum autonomen Fahren von Autos, z.B. pilotiertem Fahren. Themenschwerpunkte können beispielsweise sein: Sensoren, GPS, Trägheitsnavigation, laserbasierte Navigation, kamerabasierte Navigation, Sensordatenfusion, Filtermethoden, automatisierte Kartenerstellung, Simultaneous Localization and Mapping, maschinelle Lernverfahren oder Wegeplanung. Für das Seminar werden circa 10 aktuelle Themen aus diesen Bereichen ausgewählt, die von den Studierenden bearbeitet werden können.
6	Learning objectives and skills	1. Sie sollen lernen, sich ein wissenschaftliches Thema selbständig zu erarbeiten und eine didaktisch durchdachte Präsentation vorzubereiten. 2. Sie sollen lernen unter Einhaltung von Zeitvorgaben, Ihre Erkenntnisse publikumsangepasst zu vermitteln. 3. Sie sollen Ihre verbale sowie nonverbale Kommunikation weiterentwickeln. 4. Sie sollen ansatzweise lernen, wie eine wissenschaftliche Veröffentlichung aussehen sollte. Selbstkompetenz Fähigkeit und Bereitschaft, sich weiterzuentwickeln und das eigene Leben eigenständig und verantwortlich im jeweiligen sozialen, kulturellen bzw. beruflichen Kontext zu gestalten,

		Selbstkritische Einschätzung des Kompetenzniveaus bei der Vor- und Nachbereitung von Lehrveranstaltungen. Selbstkritische Bewertung der Studienleistungen. Sozialkompetenz Der Absolvent ist in der Lage, zielorientiert mit seinen Kommilitonen sowie externen Fachleuten und fachfremden Dritten zusammenzuarbeiten. Hierbei ist er in der Lage, fachliche und soziale Situationen zu erfassen, sich mit ihnen rational und verantwortungsbewusst auseinanderzusetzen sowie dadurch seine Arbeits- und Lebenswelt mitzugestalten.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Portfolio
11	Grading procedure	Portfolio (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 330542	Audio Processing Seminar Audio processing seminar	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Seminar: Audio Processing Seminar (2 SWS)	-
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Herre Dr.-Ing. Stefan Turowski Prof. Dr. Emanuël Habets Prof. Dr.-Ing. Bernd Edler Prof. Dr. Meinard Müller	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Emanuël Habets
5	Contents	The audio processing seminar trains students to prepare, summarize and present a recent scientific paper from the field of audio processing. The students work on a recent cutting-edge paper from one of the following fields: • Speech and Audio Coding • Audio Signal Analysis • Audio Signal Processing with the Internet of Things • Spatial Audio Signal Processing • Semantic Audio Processing • Audio in Virtual Reality During the seminar, each participant prepares a paper, creates a written report (3-7 pages) and presents it in the form of a talk (20 min.) to the other participants. Thereby, the students are guided by their own supervisors. General skills are taught in joint classes. Paper specific aspects are discussed individually between the students and their supervisor. The seminar ends with the presentation of all topics over the course of one or two days. Participation in these presentations and the following discussions are mandatory for all participants. The seminar not only gives a broad overview of the field of audio processing, but conveys fundamental scientific working and communication skills.
6	Learning objectives and skills	Learning objectives and skills Students will gain the following skills: • How to analyze a scientific paper and understand its key principles and field of application. • How to perform a thorough literature survey and evaluate relevant literature for the focus of key points in the paper. • How to acquire a broad knowledge and deeper understanding of the specific scientific area. • How to prepare the subject, identify its most important topics, their dependencies, didactic reduction. • How to compile a written summary of a paper, scientific writing, correct citations. • How to create an appealing visual presentation, review and successively optimize it. • How to present the topic in front of other students, how to train presentation skills. • How to analyze presentations of other students, deriving questions, learn to participate in a scientific discussion.

7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement During the seminar, each participant prepares a paper, creates a written report (3-7 pages) and presents it in the form of a talk (20 min.) to the other participants.
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 514944	Seminar Deep Learning Seminar deep learning	5 ECTS
2	Courses / lectures	No courses / lectures available for this module!	
3	Lecturers	No lecturers available since there are no courses / lectures for this module!	

4	Module coordinator	
5	Contents	no content description available!
6	Learning objectives and skills	no learning objectives and skills description available!
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	no Module frequency information available!
13	Workload in clock hours	Contact hours: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand in Präsenzzeit hinterlegt) Independent study: ?? h (keine Angaben zum Arbeitsaufwand im Eigenstudium hinterlegt)
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 559050	Systems- and Networks-on-a-Chip Systems- and networks-on-a-chip	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Joachim Falk Dr.-Ing. Stefan Wildermann
5	Contents	Eingebettete Systeme spielen im alltäglichen Leben eine immer größere Rolle. Gleichzeitig nimmt die Komplexität dieser Systeme immer weiter zu. Durch die heutige Technologie ist es möglich, Millionen, in naher Zukunft Milliarden von Transistoren auf einem Chip zu platzieren. Dies führt dazu, dass häufig das komplette eingebettete System, ein sogenanntes System-on-a-Chip (SoC), auf einem einzigen Chip realisiert werden kann. Die Vorteile einer verbesserten Performanz, niedrigerem Energieverbrauch sowie sinkenden Kosten sind dabei unter anderem durch die Wiederverwendung bestehender Komponenten bedingt. Eine der Herausforderungen bestehender SoCs besteht darin, eine korrekte und zuverlässige Kommunikation zwischen den Komponenten herzustellen. Aus diesem Grund wird den Komponenten eine netzwerkartige Kommunikation zur Verfügung gestellt, wodurch sogenannte Networks-on-a-Chip (NoCs) entstehen. Dieses Seminar beschäftigt sich mit der Problematik von Design, Synthese und Analyse bestehender und zukünftiger Systems- und Networks-on-a-Chip. Hierbei soll vor allem die Vereinbarkeit verschiedener Anforderungen an das System wie Kosten, Platz- und Energieverbrauch oder Zuverlässigkeit in den verschiedenen Phasen der Entwicklung betrachtet werden.
6	Learning objectives and skills	Fachkompetenz - Verstehen - Die Studierenden tragen die wesentlichen Inhalte einer ausgewählten wissenschaftlichen Veröffentlichung auf dem Gebiet der MPSoCs vor. - Die Studierenden veranschaulichen den grundlegenden Kontext der Veröffentlichung sowie deren wesentliche Neuerungen. Lern- bzw. Methodenkompetenz - Die Studierenden arbeiten sich selbstständig in eine wissenschaftliche Veröffentlichung ein und suchen hierbei selbstständig nach verwandten Arbeiten, um den Kontext der Veröffentlichung zu verstehen und aufzubereiten. Sozialkompetenz - Die Studierenden beteiligen sich aktiv an den Vorträgen der jeweils anderen Studierenden durch fachbezogene Fragen zum Thema wie auch Rückmeldung zu Vortragsstil.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!

9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%) Die Bewertung der Prüfungsleistung setzt sich zusammen aus 70% Seminarvortrag (ca. 30 Minuten Präsentation + ca. 15 Minuten Frage und Antwort) und 30% schriftlicher Ausarbeitung (2 Seiten stichpunktartiges Handout).
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 609624	Seminar Kommunikationssysteme (B.Sc.) Seminar communication systems (B.Sc.)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Hauptseminar: Seminar: Quantum Networking (2 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Abdalkarim Awad Prof. Dr. Reinhard German	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Teilnehmende arbeiten sich selbständig anhand der ausgewählten wissenschaftlichen Literatur in ein vorgeschlagenes Thema aus dem Bereich der Kommunikationssysteme ein, erstellen dazu eine schriftliche Ausarbeitung, bereiten einen Seminarvortrag vor und präsentieren ihn vor Lehrenden, interessierten wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts und Kommilitonen der Lehrveranstaltung.
6	Learning objectives and skills	Zu den zu erwerbenden Kompetenzen zählen • die Literaturrecherche, • korrektes Zitieren, • die Fähigkeit auszuwählen, welche Aspekte in der Ausarbeitung und im Vortrag behandelt werden, • zielgruppengerechtes Schreiben, • die Verwendung von Textverarbeitungswerkzeugen für die Präsentation - und die Ausarbeitung, • sicheres Auftreten beim Vortragen eines wissenschaftlichen Themas sowie • fachspezifische Fragen zum ausgewählten Themengebiet zu beantworten. Am Ende jeder Lehreinheit • stellen die Teilnehmenden gezielt Fragen zum vorgetragenen Thema, • diskutieren über fachliche Aspekte der Präsentation, • üben konstruktive Kritik an der Darstellung des Themas und • bewerten die Präsentation aus vortragstechnischer Sicht.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement Prüfungsleistung, Seminarleistung, benotet, 5.0 ECTS Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100.0 % Der Scheinerwerb erfolgt durch einen 45-minütigen Vortrag.
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Irregular
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester

15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	

1	Module name 750143	Advanced Seminar on Medical Electronics and Systems for Ambient Assisted Living AAL Advanced seminar on medical electronics and systems for ambient assisted living AAL	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Seminar: Advanced Seminar on Medical Electronics and Systems for Ambient Assisted Living AAL (0 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Ouadie Touijer	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer
5	Contents	During this module, current issues in the field of "Modern concepts in medical electronics" will be discussed. After a joint briefing the students will independently work on the chosen topic under the guidance of a supervisor. Relevant references are to be evaluated and compared in a one-page annotated literature review. On a specific workshop day, the students first present an overview of their topic in the form of a three-minute "elevator pitch" using a static slide. The findings are then presented in a 20-minute presentation. A discussion with the audience concludes the presentation. The quality and content of the literature list, the elevator pitch and the presentation as well as active participation in the discussion will be assessed. Topics: • Electronics for medical diagnostics and therapy • Electronics based human assistance systems • Electronic systems for AAL Ambient Assisted Living • Electronical Systems incorporating Microsystem Components (MEMS) • BAN body area networks • Coupling of medical electronic systems to Patient health record data bases • Near body Energy Harvesting and Scavenging • Circuit design for microwave based blood analysis • MEMS Lab-on-chip • Vital parameter supervision
6	Learning objectives and skills	• Students will acquire basic knowledge in research, topics preparation and presentation techniques. • Students will focus on technical issues for a given topic in the field of medical electronics. • Students will independently deepen a technical issue on a concrete example. • Students will learn the ability to familiarize themselves with unknown problems and to present the results. • Students will achieve the ability to formulate questions as a active listener and to discuss technical issues.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!

9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement 2 presentations (3 minute "elevator pitch" and 20 minute presentation) and literature review (1 page)
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 15 h Independent study: 60 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 775681	Seminar Ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik Selected areas in communications	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers. Ja	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Laura Cottatellucci apl. Prof. Dr. Wolfgang Gerstacker Prof. Dr.-Ing. Ralf Müller Prof. Dr.-Ing. Robert Schober Dr.-Ing. Clemens Stierstorfer
5	Contents	Inhalt / Contents In diesem Seminar werden aktuelle Themen innerhalb eines wechselnden Schwerpunkts im Bereich der Nachrichtentechnik bzw. drahtlosen Kommunikation bearbeitet und präsentiert. In this seminar, current topics in the field of telecommunications and wireless communication are presented by students.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erlernen grundlegende Techniken der Recherche, Themenaufbereitung und Präsentation technischer Inhalte und wenden diese an • analysieren und evaluieren gegebene Literatur im Hinblick auf die Schwerpunkte ihres Vortrags zu einem technischen Thema • wenden ihr bisher im Studium erworbenes Wissen an, um davon ausgehend eigenständig einen technischen Schwerpunkt zu vertiefen • wenden ihr bisheriges Wissen an, um als Zuhörer sinnvolle Fragen zu einem Vortragsthema zu formulieren und das Präsentierte zu diskutieren • analysieren und evaluieren die Präsentationen der anderen Seminarteilnehmer. The students • learn basic techniques of research, topic preparation and presentation of technical content and apply them • analyze and evaluate given literature with regard to the focus of a talk on a technical topic • apply the knowledge they have acquired during their studies to independently deepen their technical focus

		• apply their previous knowledge to formulate meaningful questions as a listener on a talk and to discuss what is presented • analyze and evaluate the presentations of the other seminar participants.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement • Die Themen werden unter Anleitung eines/r Betreuers/in eigenständig im Hinblick auf eine Präsentation in Vortragsform erarbeitet. • Studierende haben die Möglichkeit sich aktiv an der Formulierung des Vortragsthemas zu beteiligen. • Themen werden bei einer Vorbesprechung zu Beginn des Semesters vergeben. • Eine kurze Präsentation der Struktur und erster Ergebnisse erfolgt etwa 5 Wochen nach der Vorbesprechung. Gegen Ende des Vorlesungszeitraums hält jede/r Studierende einen ca. 30-minütigen Vortrag mit anschließender 15-minütiger Diskussion. • Vor den Beiträgen der Studierenden erfolgt eine Einführung zur Vortragstechnik durch Mitarbeiter des Lehrstuhls. • Es wird eine ca. 10-15-seitige Ausarbeitung erstellt. • The topics are independently worked out under the guidance of a supervisor. • Students have the opportunity to actively participate in the formulation of their individual topic. • Topics are assigned at a preliminary meeting at the beginning of the semester. • A brief presentation of the structure and initial results will be given about 5 weeks after the preliminary discussion. • Towards the end of the lecture period, each student gives a talk of approximately 30 minutes followed by a 15-minute discussion. • Students will be introduced into lecture techniques. • An approx. 10-15-page paper has to be written.
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%) • ca. halbstündiger Vortrag (60%) • Ausarbeitung im Umfang von 10-15 Seiten (vergleichbar IEEE Paper zweispaltig, 30%) • aktive Teilnahme an der Diskussion anderer Vorträge (10%) • approx. half-hour presentation (60%) • paper of 10-15 pages (comparable to IEEE paper in two columns, 30%)

		• active participation in the discussion of other presentations (10%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 15 h Independent study: 60 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	• Unterlagen zu den Modulen Digitale Übertragung, MIMO Communication Systems, Convex Optimization in Communications and Signal Processing • Informationen zur Literatursuche und zu Präsentationstechniken • Vorlagen für Ausarbeitungen und Präsentationsfolien werden zur Verfügung gestellt • Technische Literatur im Themengebiet • Lecture notes of the modules Digital Transmission, MIMO Communication Systems, Convex Optimization in Communications and Signal Processing • Information on literature search and presentation techniques • Templates for papers and presentation slides will be provided • Technical literature in the subject area

1	Module name 914949	Seminar Ausgewählte Kapitel der Multimediakommunikation und Signalverarbeitung Seminar on selected topics of multimedia communications and signal processing	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Seminar: Seminar Ausgewählte Kapitel der Multimediakommunikation und Signalverarbeitung (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlecht Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup Marina Ritthaler	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Andre Kaup Prof. Dr.-Ing. Walter Kellermann Dr.-Ing. Heinrich Löllmann
5	Contents	Im Seminar Multimediakommunikation und Signalverarbeitung werden aktuelle Themen aus dem Bereich der Multimediakommunikation und Signalverarbeitung bearbeitet. Nach einer gemeinsamen Vorbesprechung und Themenauswahl werden die einzelnen Themen unter Anleitung eines Betreuers oder einer Betreuerin eigenständig im Hinblick auf eine Präsentation in Vortragsform erarbeitet. Eine kurze Präsentation der Struktur und erster Ergebnisse erfolgt etwa 5 Wochen nach der Vorbesprechung.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • erlernen grundlegende Techniken der Recherche, Themenaufbereitung und Präsentation technischer Inhalte und wenden diese an • analysieren und evaluieren gegebene Literatur im Hinblick auf die Schwerpunkte ihres Vortrags zu einem technischen Thema • wenden ihr bisher im Studium erworbenes Wissen an, um davon ausgehend eigenständig einen technischen Schwerpunkt zu vertiefen • wenden ihr bisheriges Wissen an, um als Zuhörer sinnvolle Fragen zu einem Vortragsthema zu formulieren und das Präsentierte zu diskutieren • analysieren und evaluieren die Präsentationen der anderen Seminarteilnehmer.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement Gegen Ende des Vorlesungszeitraums hält jeder Teilnehmer einen ca. 30-minütigen Vortrag mit anschließender Diskussion im Rahmen eines ganztägigen Workshops. Als Begleitmaterial zum Vortrag wird auch eine ca. 10-seitige Ausarbeitung erstellt. Für die Vortragsveranstaltungen besteht Anwesenheitspflicht.

11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 986443	Seminar Kommunikationssysteme (M.Sc.) Seminar communication systems (M.Sc.)	5 ECTS
2	Courses / lectures	Hauptseminar: Seminar: Quantum Networking (2 SWS)	5 ECTS
3	Lecturers	Dr.-Ing. Abdalkarim Awad Prof. Dr. Reinhard German	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Reinhard German
5	Contents	Teilnehmende arbeiten sich selbständig anhand der ausgewählten wissenschaftlichen Literatur in ein vorgeschlagenes Thema aus dem Bereich der Kommunikationssysteme ein, erstellen dazu eine schriftliche Ausarbeitung, bereiten einen Seminarvortrag vor und präsentieren ihn vor Lehrenden, interessierten wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts und Kommilitonen der Lehrveranstaltung.
6	Learning objectives and skills	Zu den zu erwerbenden Kompetenzen zählen • die Literaturrecherche, • korrektes Zitieren, • die Fähigkeit auszuwählen, welche Aspekte in der Ausarbeitung und im Vortrag behandelt werden, • zielgruppengerechtes Schreiben, • die Verwendung von Textverarbeitungswerkzeugen für die Präsentation und die Ausarbeitung, • sicheres Auftreten beim Vortragen eines wissenschaftlichen Themas sowie • fachspezifische Fragen zum ausgewählten Themengebiet zu beantworten. Am Ende jeder Lehreinheit • stellen die Teilnehmenden gezielt Fragen zum vorgetragenen Thema, • diskutieren über fachliche Aspekte der Präsentation, • üben konstruktive Kritik an der Darstellung des Themas und • bewerten die Präsentation aus vortragstechnischer Sicht.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement Prüfungsleistung, Seminarleistung, benotet, 5.0 ECTS Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100.0 % Der Scheinerwerb erfolgt durch einen 45-minütigen Vortrag.
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 120 h
14	Module duration	1 semester

15	Teaching and examination language	german english
16	Bibliography	• gesammelte Bücher, Artikel und Weblinks zu einem einschlägigen Themengebiet • Reinhard German. Allgemeine Hinweise zu Seminarvorträgen und -ausarbeitungen.

1	Module name 92527	Joint communications and sensing in wireless systems	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Hauptseminar: Joint Communications and Sensing in Wireless Systems (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Maximilian Lübke Prof. Dr.-Ing. Robert Weigel Prof. Dr.-Ing. Martin Vossiek Prof. Dr.-Ing. Georg Fischer Prof. Dr.-Ing. Robert Schober Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi
5	Contents	Radio sensing as an integrated capability of mobile communication networks have been identified as one of the key features of future 6G cellular systems. The main challenge here lies in the joint design of sensing and communications because mobile communications and radar, for example, are still designed as more or less independent technologies and systems with different design approaches. But, especially, the convergence of both technologies is of utmost interest, enabling benefits of integrated radio sensing like • sensing/radar-as-a-service, e.g., for object and obstacle detection, • joint signal processing frameworks for both target/environment detection/analysis and wireless communications, • highly synchronous operation of both technologies, • balancing dual-functional performance (coordination gain), • performing mutual assistance, • increasing resource efficiency using shared radio resources, • jamming detection and mitigation, • optimization of the network performance based on collected sensing information.
6	Learning objectives and skills	The design of JC&S-based wireless systems faces challenges in several electrical engineering areas, especially electronics design, radio-frequency (RF) design, information and communications technology (ICT) design, and system design. The seminar will examine the latest approaches, developments, and findings from research in the field of JC&S and Integrated Sensing and Communication (ISAC), respectively. And topics are offered across all of the aforementioned disciplines. Participants in this seminar are expected to have a basic knowledge of communications systems, such as those acquired in the Digital Communications and Fundamentals of Mobile Communications lectures.
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement

11	Grading procedure	Seminar achievement (100%) Ca. halbstündiger Vortrag (60%), Ausarbeitung im Umfang von 7-10 Seiten (30%), aktive Teilnahme an der Diskussion anderer Vorträge (10%)
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 15 h Independent study: 60 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 47637	Geschichte der Rechentechnik History of computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Hauptseminar: Die Geschichte der Rechentechnik I (2 SWS) Übung: Übung zu Geschichte der Rechentechnik (2 SWS)	5 ECTS -
3	Lecturers	Dr. phil. Felix Schmutterer	

4	Module coordinator	Dr. phil. Felix Schmutterer
5	Contents	Gegenstand des Seminars sind die Meilensteine der Rechentechnik" ausgehend vom 19. Jahrhundert. Diese einschneidenden Entwicklungen von Rechenmaschinen zu ersten Werkzeugen der Datenverarbeitung werden zunächst den Ausgangspunkt bilden. Turingmaschinen" und die neuen Bedürfnisse" von Militär wie etwa Chiffrierung und De-Chiffrierung werden dann zentrale Themen des Seminars bilden. Im Fokus steht dabei stets die Funktionsweise der Maschinen. Darüber hinaus werden die Rechner konsequent im Kontext ihrer Zeit diskutiert werden. Insbesondere wird dabei auf die steigenden Anforderungen und die veränderlichen Einsatzmöglichkeiten wie etwa im Falle der Enigma einzugehen sein. Die genauen Themen werden zu Semesterbeginn festgelegt. Die Themenliste kann beim Dozenten erfragt werden.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden • recherchieren und arbeiten mit historischen Quellen und wissenschaftlicher Literatur aus den Bereichen Informatik und Geschichte • beschreiben Aspekte der Rechentechnik • erarbeiten sich die Fähigkeit, wichtige Aspekte für einen wissenschaftlichen Vortrag darzustellen und strukturieren diesen • vertreten ihre Auffassung in einer Diskussion und hinterfragen ihr Thema • konzipieren und formulieren eine schriftliche Zusammenfassung des Vortrags
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement (30 minutes) Referat und schriftliche Hausarbeit (10 Seiten)
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%) Die Note ist gewichtet, das Referat fließt zu 40% ein, die Hausarbeit zu 60%
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german
16	Bibliography	

1	Module name 92374	Seminar on Selected Topics in Machine Learning	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Seminar: Seminar on Selected Topics in Machine Learning The participants must be present at all in-person events. <i>Die Teilnehmenden müssen an allen Präsenzterminen anwesend sein.</i>	2,5 ECTS
3	Lecturers	Amir El-Ghoussani Marc Hölle Prof. Dr. Vasileios Belagiannis Michele De Vita	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	The students will study, understand, and present scientific publications from the literature on machine learning and deep learning. At the end of the seminar, the student will be able to summarise and present a publication. The seminar covers a wide range of research topics in the field of machine learning and deep learning, including generative and foundation models, different types of learning and applications machine learning. <i>Die Studierenden werden wissenschaftliche Veröffentlichungen aus der Literatur über maschinelles Lernen und Deep Learning analysieren, verstehen und präsentieren. Am Ende des Seminars sind die Studierenden in der Lage, eine Publikation zusammenzufassen und vorzustellen.</i> <i>Das Seminar deckt ein breites Spektrum an Forschungsthemen auf dem Gebiet des maschinellen Lernens und des Deep Learning ab, einschließlich generativer und Foundation-Modelle, verschiedene Arten des Lernens und Anwendungen des maschinellen Lernens.</i>
6	Learning objectives and skills	The students will learn to: • Conduct literature reviews. • Present and analyse a scientific topic. • Write a report on a specific problem. • Discuss and communicate research findings. <i>Die Studierenden lernen</i> • Literaturrecherchen durchzuführen. • ein wissenschaftliches Thema zu präsentieren und zu analysieren. • einen Bericht über ein spezifisches Problem zu schreiben. • Forschungsergebnisse zu diskutieren und zu kommunizieren.
7	Prerequisites	Basic knowledge in Machine Learning and Deep Learning beneficial

		Grundlegende Kenntnisse in Machine Learning und Deep Learning von Vorteil
8	Integration in curriculum	semester: 3
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement The assigned topic must be successfully presented at the end of the seminar. <i>Das zugewiesene Thema muss am Ende des Seminars präsentiert werden sowie in einem schriftlichen Bericht dargestellt werden.</i>
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%) The given presentation and the submitted report are included in the grade. <i>Der gehaltene Vortrag und eingereichte Bericht gehen in die Notenbildung ein.</i>
12	Module frequency	Only in summer semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 30 h Independent study: 45 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	Literature research is one of the learning objectives of the seminar. In the event that more in-depth literature is required, this will be made available during the seminar. <i>Die Literaturrecherche ist eines der Lernziele des Seminars. Für den Fall, dass tiefer gehende Literatur benötigt wird, wird diese im Rahmen des Seminars zur Verfügung gestellt.</i>

1	Module name 92361	Smart City: Technologien und Systeme (TuS) Smart City: Technologies and systems (TuS)	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	Hauptseminar: Smart City: Technologien und Systeme (2 SWS)	2,5 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi	

4	Module coordinator	Prof. Dr.-Ing. Norman Franchi
5	Contents	Themen zur Auswahl: • Toward Location-Enabled IoT (LE-IoT): IoT Positioning Techniques, Error Sources, and Error Mitigation • Positioning Techniques in IoT • Error Sources in IoT Localization • Energy Consumption of eMTC and NB-IoT for Smart City Applications • Vehicular Fog Computing • (C-)V2X • Mioty als sichere Massive IoT/LPWAN Lösung • Open Data • Artificial Intelligence for efficient urban mobility • Augmented / Mixed / Extended Reality • Smart Parking Systems • 5G Private/Campus Networks • Microgrid Technology
6	Learning objectives and skills	Schlüsselwörter: Smart City, IoT, Campusnetze, LPWAN, NB-IoT, Microgrids, Smart Parking, C-V2X, 5G, Augmented / Mixed / Extended Reality, Misty, Vehicular Fog Computing
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	no Integration in curriculum available!
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement Seminararbeit+Vortrag, benotet
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%) 60% Vortrag: Präsentation (20 Min.) plus Verteidigung (10 Min) 30% Ausarbeitung (7 bis max. 10 Seiten A4) 10% Aktive Teilnahme an der Diskussion anderer Vorträge
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 15 h Independent study: 60 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	german or english
16	Bibliography	

1	Module name 767791	Seminar Innovationslabor für Wearable und Ubiquitous Computing Seminar innovation lab for wearable and ubiquitous computing	5 ECTS
2	Courses / lectures	Praktikum/Projekt: Innovationslabor für Wearable und Ubiquitous Computing (4 SWS)	10 ECTS
3	Lecturers	Prof. Dr. Björn Eskofier Nils Roth Marlies Nitschke Matthias Zürl Johannes Link Michael Nissen Ann-Kristin Seifer Kai Klede Charlotte Pradel Imrana Abdullahi Yari Alzhraa Ibrahim Mohamad Wehbi Misha Sadeghi	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Björn Eskofier Matthias Zürl	
5	Contents	Mini-Computer, die unseren Lebensrhythmus dokumentieren, EKG-Sensoren, die jedes Detail aufzeichnen, Brillen, die uns in eine andere Realität versetzen diesen Technologien begegnen wir mittlerweile ständig im Alltag. Im Innovationslabor für Wearable und Ubiquitous Computing werden solche Technologien von Studierenden entwickelt und gleichzeitig aufgezeigt, wie man mit diesen ein eigenes Startup gründen könnte. Gefördert wird das Labor vom Zentrum Digitalisierung Bayern (ZD.B). Die innovativen Technologien werden dabei prototypisch in Gruppenarbeit (5-8 Studierende) unter Nutzung von agilen Entwicklungsmethoden (Scrum) geschaffen. Den Studierenden steht dabei der Zugang zum Innovationslabor offen, welches mit der nötigen Infrastruktur für die Entwicklung der Prototypen ausgestattet ist. Die Ideen für die Projekte stammen dabei entweder von kooperierenden Firmen oder von den Studierenden selbst. Neben dem Prototyping erlernen die Teilnehmer in Tutorials die Grundlagen für innovatives Arbeiten wie Design Thinking und Patentrecherche. Zudem wird ihnen beigebracht, wie sie nach der Entwicklung ihre Ideen schützen und gegebenenfalls an den Markt bringen können. *Content:* Mini-computers documenting our rhythm of life, EKG-Sensors tracing every detail or glasses, that transfer us into another reality are amongst the technologies we are meanwhile facing in our everyday lives. At the Innovation Lab for Wearable and Ubiquitous Computing students develop such technologies and learn about the possibilities and requirements to build a start-up. The Lab is funded by the Center of Digitalization Bavaria (ZD.B). By applying agile development methods (Scrum), teams of 5 to 8 students develop prototypes of products within	

		the wearable and ubiquitous computing field. Participating students have open access to the Innovation Lab, which provides them with everything they need to develop their prototypes. The project ideas originate from cooperating companies or the students themselves. Besides the great practical experience gained during development, students also learn about entrepreneurship. There will be tutorials covering design thinking, market analysis, management of development processes, securing intellectual property, and business plan creation.
6	Learning objectives and skills	• Ideation, Design Thinking • Patentrecherche, Marktanalysetechniken • Agile Entwicklungsmethoden (Scrum) • Prototyping • Sicherung geistigen Eigentums • Einführung in Entrepreneurship, Startup Finanzierung *Learning Goals and skills:* • Ideation, Design Thinking • Patent Research, Markt Analysis • Agile Development Methods (Scrum) • Prototyping • Securing Intellectual Property • Introduction to Entrepreneurship, Startup Financing
7	Prerequisites	None
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Seminar achievement Der Umfang der Leistung im Innovation Lab setzt sich aus vier Teilbereichen zusammen (in Klammern ist der Anteil an der Gesamtnote angegeben): • Teampräsentation - 30 min (30%) • Abschlussvortrag - 10 min (10 %) • Hardware/Software Development, Scrum Meetings, Practical work (40%) • Abschlussdokumentation/Report - ca. 3 - 6 Seiten pro Studierenden (20 %) The scope of the performance in the Innovation Lab is made up of four sub-areas (the proportion of the overall grade is stated in brackets): • Teampresentation - 30 min (30%) • Final lecture - 10 min (10 %) • Hardware/Software Development, Scrum Meetings, Practical work (40%) • Report - ca. 3 - 6 pages per student (20 %)
11	Grading procedure	Seminar achievement (100%)
12	Module frequency	Every semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h

		Independent study: 90 h
14	Module duration	1 semester
15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	

1	Module name 47574	Praktikum Machine Learning and Systems Lab Course Machine Learning and Systems	2,5 ECTS
2	Courses / lectures	No teaching units are offered for the module in the current semester. For further information on teaching units please contact the module managers.	
3	Lecturers	-	

4	Module coordinator	Prof. Dr. Vasileios Belagiannis
5	Contents	Die Studierenden werden lernen, Algorithmen für maschinelles Lernen für Systeme zu entwickeln. Die Laborprojekte konzentrieren sich auf effizientes Modelltraining und -inferenz, hardwarenahe Algorithmen, Interpretierbarkeit und Robustheit von maschinellen Lernsystemen. Tiefe neuronale Netze werden der Hauptansatz für die Entwicklung sein. Die Aufgaben umfassen unter anderem folgende Punkte: • Komprimierung neuronaler Netze. • Algorithmen des maschinellen Lernens auf eingebetteten Geräten. • Anwendungen für automatisiertes Fahren. • Generative Modelle. • Interpretierbarkeit von Modellen. • Benchmarking.
6	Learning objectives and skills	Die Studierenden lernen Folgendes: • Entwickeln von Algorithmen für maschinelles Lernen unter Berücksichtigung der Hardware. • Implementieren neuronaler Netzwerkarchitekturen für die Roboterwahrnehmung. • Trainieren und Feintuning von tiefen neuronalen Netzwerkmodellen. • Einsetzen und Benchmarking von maschinellen Lernalgorithmen.
7	Prerequisites	Kenntnisse in Maschine Learning
8	Integration in curriculum	semester: 1
9	Module compatibility	Seminar Master of Science Information and Communication Technology 20222
10	Method of examination	Practical achievement Zum Bestehen des Praktikums müssen die einzelnen Versuchsaufgaben erfolgreich abgeschlossen werden.
11	Grading procedure	Practical achievement (100%)
12	Module frequency	Only in winter semester
13	Workload in clock hours	Contact hours: 60 h Independent study: 90 h
14	Module duration	?? semester (no information for Module duration available)

15	Teaching and examination language	english
16	Bibliography	1) Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). Deep learning. 2) Raschka, S., Liu, Y. H., Mirjalili, V., & Dzhulgakov, D. (2022). Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn: Develop machine learning and deep learning models with Python.