



Modulhandbuch

Master of Science (M.Sc.)

Information and Communication Systems

Kohorte: Wintersemester 2022

Stand: 8. Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Studiengangsbeschreibung	3
Fachmodule der Kernqualifikation	4
Modul M0523: Betrieb & Management	4
Modul M0524: Nichttechnische Angebote im Master	5
Modul M0673: Information Theory and Coding	7
Modul M1246: Technischer Ergänzungskurs für IMPICS (laut FSPO)	10
Modul M1776: Research Project ICS	11
Fachmodule der Vertiefung Kommunikationssysteme	12
Modul M0676: Digitale Nachrichtenübertragung	12
Modul M0836: Communication Networks	16
Modul M0710: Hochfrequenztechnik	18
Modul M0637: Advanced Concepts of Wireless Communications	20
Modul M0837: Simulation of Communication Networks	22
Modul M0638: Modern Wireless Systems	23
Modul M1564: Hauptseminare Informatik und Kommunikationstechnik	25
Fachmodule des Schwerpunktes Signalverarbeitung	26
Modul M0738: Digital Audio Signal Processing	26
Modul M0677: Digital Signal Processing and Digital Filters	28
Modul M0556: Computer Graphics	30
Modul M1700: Satellite Communications and Navigation	32
Modul M1702: Process Imaging	37
Modul M1598: Bildverarbeitung	39
Fachmodule des Schwerpunktes Software	41
Modul M0753: Software Verification	41
Modul M0733: Software Analysis	43
Modul M1397: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen	45
Modul M1301: Software Testing	47
Modul M1682: Secure Software Engineering	49
Modul M1774: Advanced Internet Computing	51
Modul M0924: Software für Eingebettete Systeme	53
Modul M1785: Machine Learning in Electrical Engineering and Information Technology	55
Modul M1794: Applied Cryptography	58
Modul M1780: Massively Parallel Systems: Architecture and Programming	59
Fachmodule der Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme	61
Modul M0753: Software Verification	61
Modul M0942: Software Security	63
Modul M1397: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen	65
Modul M1773: Cybersecurity Data Science	67
Modul M1400: Entwurf von Dependable Systems	69
Modul M1564: Hauptseminare Informatik und Kommunikationstechnik	71
Fachmodule des Schwerpunktes Netze	72
Modul M0836: Communication Networks	72
Modul M0676: Digitale Nachrichtenübertragung	74
Modul M0837: Simulation of Communication Networks	77
Modul M1774: Advanced Internet Computing	78
Modul M0839: Traffic Engineering	80
Fachmodule des Schwerpunktes Software und Signalverarbeitung	82
Modul M0738: Digital Audio Signal Processing	82
Modul M0733: Software Analysis	84
Modul M0556: Computer Graphics	86
Modul M1682: Secure Software Engineering	88
Modul M1700: Satellite Communications and Navigation	90
Modul M1301: Software Testing	95
Modul M1842: GPU Architectures	97
Modul M1810: Autonomous Cyber-Physical Systems	99
Modul M1694: Security of Cyber-Physical Systems	100
Modul M1598: Bildverarbeitung	102
Thesis	104
Modul M-002: Masterarbeit	104

Studiengangsbeschreibung

Inhalt

Among the industries with the greatest growth rates is the communications industry which, over the years, has achieved in its products the synergy of the classical disciplines of computer science and networking. The International Master Program Information and Communication Systems addresses this rapidly evolving area by laying in-depth foundations for the design and implementation of networking infrastructures, networked Cyber Physical Systems and the applications and services running on them.

The program is organized as a two-year course (four semesters) which starts on 1st of October each year. It includes around two semesters of lectures and practical courses and almost two semesters devoted to work in a research team (project work) and to the preparation of a master's thesis. The "Master of Science" degree will be awarded. Language of the program is English.

Graduates of the program are provided with the basics and knowledge that are required for a successful engineering activity in the information and communication technology in an international environment. They acquire extensive knowledge in the mathematical, engineering and scientific basic principles of this discipline based on a solid theoretical foundation including all the essential application-oriented aspects. Graduates are qualified to independently resolve problems in the information and communications technology and related disciplines.

The graduates are able to apply methods and procedures required to work on technical issues, as well as critically examine new insights to further develop and incorporate in their work. In this way, they are qualified to carry out their duties for society responsibly.

Fachmodule der Kernqualifikation

Modul M0523: Betrieb & Management

Modulverantwortlicher	Prof. Matthias Meyer
Zulassungsvoraussetzungen	Keine
Empfohlene Vorkenntnisse	Keine
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht
Fachkompetenz <i>Wissen</i> - Die Studierenden sind in der Lage, ausgewählte betriebswirtschaftliche Spezialgebiete innerhalb der Betriebswirtschaftslehre zu verorten. - Die Studierenden können in ausgewählten betriebswirtschaftlichen Teilbereichen grundlegende Theorien, Kategorien und Modelle erklären. - Die Studierenden können technisches und betriebswirtschaftliches Wissen miteinander in Beziehung setzen. <i>Fertigkeiten</i> - Die Studierenden können in ausgewählten betriebswirtschaftlichen Teilbereichen grundlegende Methoden anwenden. - Die Studierenden können für praktische Fragestellungen in betriebswirtschaftlichen Teilbereichen Entscheidungsvorschläge begründen. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> - Die Studierenden sind in der Lage, in interdisziplinären Kleingruppen zu kommunizieren und gemeinsam Lösungen für komplexe Problemstellungen zu erarbeiten. <i>Selbstständigkeit</i> - Die Studierenden sind in der Lage, sich notwendiges Wissen durch Recherchen und Aufbereitungen von Material selbstständig zu erschließen.	
Arbeitsaufwand in Stunden	Abhängig von der Wahl der Lehrveranstaltungen
Leistungspunkte	6

Lehrveranstaltungen

Die Informationen zu den Lehrveranstaltungen entnehmen Sie dem separat veröffentlichten Modulhandbuch des Moduls.

Modul M0524: Nichttechnische Angebote im Master	
Modulverantwortlicher	Dagmar Richter
Zulassungsvoraussetzungen	Keine
Empfohlene Vorkenntnisse	Keine
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Die Nichttechnischen Angebote (NTA) vermittelt die in Hinblick auf das Ausbildungsprofil der TUHH nötigen Kompetenzen, die ingenieurwissenschaftliche Fachlehre fördern aber nicht abschließend behandeln kann: Eigenverantwortlichkeit, Selbstführung, Zusammenarbeit und fachliche wie personale Leitungsbefähigung der zukünftigen Ingenieurinnen und Ingenieure. Er setzt diese Ausbildungsziele in seiner Lehrarchitektur, den Lehr-Lern-Arrangements, den Lehrbereichen und durch Lehrangebote um, in denen sich Studierende wahlweise für spezifische Kompetenzen und ein Kompetenzniveau auf Bachelor- oder Masterebene qualifizieren können. Die Lehrangebote sind jeweils in einem Modulkatalog Nichttechnische Ergänzungskurse zusammengefasst. Die Lehrarchitektur besteht aus einem studiengangübergreifenden Pflichtstudienangebot. Durch dieses zentral konzipierte Lehrangebot wird die Profilierung der TUHH Ausbildung auch im nichttechnischen Bereich gewährleistet. Die Lernarchitektur erfordert und übt eigenverantwortliche Bildungsplanung in Hinblick auf den individuellen Kompetenzaufbau ein und stellt dazu Orientierungswissen zu thematischen Schwerpunkten von Veranstaltungen bereit. Das über den gesamten Studienverlauf begleitend studierbare Angebot kann ggf. in ein-zwei Semestern studiert werden. Angesichts der bekannten, individuellen Anpassungsprobleme beim Übergang von Schule zu Hochschule in den ersten Semestern und um individuell geplante Auslandssemester zu fördern, wird jedoch von einer Studienfixierung in konkreten Fachsemestern abgesehen. Die Lehr-Lern-Arrangements sehen für Studierende - nach B.Sc. und M.Sc. getrennt - ein semester- und fachübergreifendes voneinander Lernen vor. Der Umgang mit Interdisziplinarität und einer Vielfalt von Lernständen in Veranstaltungen wird eingeübt - und in spezifischen Veranstaltungen gezielt gefördert. Die Lehrbereiche basieren auf Forschungsergebnissen aus den wissenschaftlichen Disziplinen Kulturwissenschaften, Gesellschaftswissenschaften, Kunst, Geschichtswissenschaften, Kommunikationswissenschaften, Migrationswissenschaften, Nachhaltigkeitsforschung und aus der Fachdidaktik der Ingenieurwissenschaften. Über alle Studiengänge hinweg besteht im Bachelorbereich zusätzlich ab Wintersemester 2014/15 das Angebot, gezielt Betriebswirtschaftliches und Gründungswissen aufzubauen. Das Lehrangebot wird durch soft skill und Fremdsprachkurse ergänzt. Hier werden insbesondere kommunikative Kompetenzen z.B. für Outgoing Engineers gezielt gefördert. Das Kompetenzniveau der Veranstaltungen in den Modulen der nichttechnischen Ergänzungskurse unterscheidet sich in Hinblick auf das zugrunde gelegte Ausbildungsziel: Diese Unterschiede spiegeln sich in den verwendeten Praxisbeispielen, in den - auf unterschiedliche berufliche Anwendungskontexte verweisende - Inhalten und im für M.Sc. stärker wissenschaftlich-theoretischen Abstraktionsniveau. Die Soft skills für Bachelor- und für Masterabsolventinnen/ Absolventen unterscheidet sich an Hand der im Berufsleben unterschiedlichen Positionen im Team und bei der Anleitung von Gruppen. Fachkompetenz (Wissen) Die Studierenden können • ausgewählte Spezialgebiete des jeweiligen nichttechnischen Bereiches erläutern, • in den im Lehrbereich vertretenen Disziplinen grundlegende Theorien, Kategorien, Begrifflichkeiten, Modelle, Konzepte oder künstlerischen Techniken skizzieren, • diese fremden Fachdisziplinen systematisch auf die eigene Disziplin beziehen, d.h. sowohl abgrenzen als auch Anschlüsse benennen, • in Grundzügen skizzieren, inwiefern wissenschaftliche Disziplinen, Paradigmen, Modelle, Instrumente, Verfahrensweisen und Repräsentationsformen der Fachwissenschaften einer individuellen und soziokulturellen Interpretation und Historizität unterliegen, • können Gegenstandsangemessen in einer Fremdsprache kommunizieren (sofern dies der gewählte Schwerpunkt im NTW-Bereich ist).
<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden können in ausgewählten Teilbereichen • grundlegende und teils auch spezielle Methoden der genannten Wissenschaftsdisziplinen anwenden. • technische Phänomene, Modelle, Theorien usw. aus der Perspektive einer anderen, oben erwähnten Fachdisziplin befragen. • einfache und teils auch fortgeschrittene Problemstellungen aus den behandelten Wissenschaftsdisziplinen erfolgreich bearbeiten, • bei praktischen Fragestellungen in Kontexten, die den technischen Sach- und Fachbezug übersteigen, ihre Entscheidungen zu Organisations- und Anwendungsformen der Technik begründen.

Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden sind fähig , • in unterschiedlichem Ausmaß kooperativ zu lernen • eigene Aufgabenstellungen in den o.g. Bereichen in adressatengerechter Weise in einer Partner- oder Gruppensituation zu präsentieren und zu analysieren, • nichttechnische Fragestellungen einer Zuhörerschaft mit technischem Hintergrund verständlich darzustellen • sich landessprachlich kompetent, kulturell angemessen und geschlechtersensibel auszudrücken (sofern dies der gewählte Schwerpunkt im NTW-Bereich ist) Die Studierenden sind in ausgewählten Bereichen in der Lage, • die eigene Profession und Professionalität im Kontext der lebensweltlichen Anwendungsgebiete zu reflektieren, • sich selbst und die eigenen Lernprozesse zu organisieren, • Fragestellungen vor einem breiten Bildungshorizont zu reflektieren und verantwortlich zu entscheiden, • sich in Bezug auf ein nichttechnisches Sachthema mündlich oder schriftlich kompetent auszudrücken. • sich als unternehmerisches Subjekt zu organisieren, (sofern dies ein gewählter Schwerpunkt im NTW-Bereich ist).
Arbeitsaufwand in Stunden	Abhängig von der Wahl der Lehrveranstaltungen
Leistungspunkte	6

Lehrveranstaltungen
Die Informationen zu den Lehrveranstaltungen entnehmen Sie dem separat veröffentlichten Modulhandbuch des Moduls.

Modul M0673: Information Theory and Coding			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Informationstheorie und Codierung (L0436)	Vorlesung	3	4
Informationstheorie und Codierung (L0438)	Hörsaalübung	2	2
Modulverantwortlicher	Prof. Gerhard Bauch		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Mathematics 1-3 - Probability theory and random processes - Basic knowledge of communications engineering (e.g. from lecture "Fundamentals of Communications and Random Processes")		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<i>Wissen</i> The students know the basic definitions for quantification of information in the sense of information theory. They know Shannon's source coding theorem and channel coding theorem and are able to determine theoretical limits of data compression and error-free data transmission over noisy channels. They understand the principles of source coding as well as error-detecting and error-correcting channel coding. They are familiar with the principles of decoding, in particular with modern methods of iterative decoding. They know fundamental coding schemes, their properties and decoding algorithms. The students are familiar with the contents of lecture and tutorials. They can explain and apply them to new problems. <i>Fertigkeiten</i> The students are able to determine the limits of data compression as well as of data transmission through noisy channels and based on those limits to design basic parameters of a transmission scheme. They can estimate the parameters of an error-detecting or error-correcting channel coding scheme for achieving certain performance targets. They are able to compare the properties of basic channel coding and decoding schemes regarding error correction capabilities, decoding delay, decoding complexity and to decide for a suitable method. They are capable of implementing basic coding and decoding schemes in software.		
Personale Kompetenzen	<i>Sozialkompetenz</i> The students can jointly solve specific problems. <i>Selbstständigkeit</i> The students are able to acquire relevant information from appropriate literature sources. They can control their level of knowledge during the lecture period by solving tutorial problems, software tools, clicker system.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Kernqualifikation: Pflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Elektrotechnik: Wahlpflicht Mechatronics: Technischer Ergänzungskurs: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0436: Information Theory and Coding	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	- Introduction to information theory and coding - Definitions of information: Self information, entropy - Binary entropy function - Source coding theorem - Entropy of continuous random variables: Differential entropy, differential entropy of uniformly and Gaussian distributed random variables - Source coding - Principles of lossless source coding - Optimal source codes - Prefix codes, prefix-free codes, instantaneous codes - Morse code - Huffman code - Shannon code - Bounds on the average codeword length - Relative entropy, Kullback-Leibler distance, Kullback-Leibler divergence - Cross entropy - Lempel-Ziv algorithm - Lempel-Ziv-Welch (LZW) algorithm

- Text compression and image compression using variants of the Lempel-Ziv algorithm
- Channel models
 - AWGN channel
 - Binary-input AWGN channel
 - Binary symmetric channel (BSC)
 - Relationship between AWGN channel and BSC
 - Binary error and erasure channel (BEEC)
 - Binary erasure channel (BEC)
 - Discrete memoryless channels (DMC)
- Definitions of information for multiple random variables
 - Mutual information and channel capacity
 - Entropy, conditional entropy
 - Chain rules for entropy and mutual information
- Channel coding theorem
- Channel capacity of fundamental channels: BSC, BEC, AWGN channel, binary-input AWGN channel etc.
- Power-limited vs. bandlimited transmission
- Capacity of parallel AWGN channels
 - Waterfilling
 - Examples: Multiple input multiple output (MIMO) channels, complex equivalent baseband channels, orthogonal frequency division multiplex (OFDM)
- Source-channel coding theorem, separation theorem
- Multiuser information theory
 - Multiple access channel (MAC)
 - Broadcast channel
 - Principles of multiple access, time division multiple access (TDMA), frequency division multiple access (FDMA), non-orthogonal multiple access (NOMA), hybrid multiple access
 - Achievable rate regions of TDMA and FDMA with power constraint, energy constraint, power spectral density constraint, respectively
 - Achievable rate region of the two-user and K-user multiple access channels
 - Achievable rate region of the two-user and K user broadcast channels
 - Multiuser diversity
- Channel coding
 - Principles and types of channel coding
 - Code rate, data rate, Hamming distance, minimum Hamming distance, Hamming weight, minimum Hamming weight
 - Error detecting and error correcting codes
 - Simple block codes: Repetition codes, single parity check codes, Hamming code, etc.
 - Syndrome decoding
 - Representations of binary data
 - Non-binary symbol alphabets and non-binary codes
 - Code and encoder, systematic and non-systematic encoders
 - Properties of Hamming distance and Hamming weight
 - Decoding spheres
 - Perfect codes
 - Linear codes
 - Decoding principles
 - Syndrome decoding
 - Maximum a posteriori probability (MAP) decoding and maximum likelihood (ML) decoding
 - Hard decision and soft decision decoding
 - Log-likelihood ratios (LLRs), boxplus operation
 - MAP and ML decoding using log-likelihood ratios
 - Soft-in soft-out decoders
 - Error rate performance comparison of codes in terms of SNR per info bit vs. SNR per code bit
 - Linear block codes
 - Generator matrix and parity check matrix, properties of generator matrix and parity check matrix
 - Dual codes
 - Low density parity check (LDPC) codes
 - Sparse parity check matrix
 - Tanner graphs, cycles and girth
 - Degree distributions
 - Code rate and degree distribution
 - Regular and irregular LDPC codes
 - Message passing decoding
 - Message passing decoding in binary erasure channels (BEC)
 - Systematic encoding using erasure message passing decoding
 - Message passing decoding in binary symmetric channels (BSC)
 - Extrinsic information
 - Bit-flipping decoding
 - Effects of short cycles in the Tanner graph
 - Alternative bit-flipping decoding
 - Soft decision message passing decoding: Sum product decoding
 - Bit error rate performance of LDPC codes
 - Repeat accumulate codes and variants of repeat accumulate codes
 - Message passing decoding and turbo decoding of repeat accumulate codes
 - Convolutional codes
 - Encoding using shift registers

	■ Trellis representation ■ Hard decision and soft decision Viterbi decoding ■ Bit error rate performance of convolutional codes ■ Asymptotic coding gain ■ Viterbi decoding complexity ■ Free distance and optimum convolutional codes ■ Generator polynomial description and octal description ■ Catastrophic convolutional codes ■ Non-systematic and recursive systematic convolutional (RSC) encoders ■ Rate compatible punctured convolutional (RCPC) codes ■ Hybrid automatic repeat request (HARQ) with incremental redundancy ■ Unequal error protection with punctured convolutional codes ■ Error patterns of convolutional codes ○ Concatenated codes ■ Serial concatenated codes ■ Parallel concatenated codes, Turbo codes ■ Iterative decoding, turbo decoding ■ Bit error rate performance of turbo codes ■ Interleaver design for turbo codes ○ Coded modulation ■ Principle of coded modulation ■ Achievable rates with PSK/QAM modulation ■ Trellis coded modulation (TCM) ■ Set partitioning ■ Ungerböck codes ■ Multilevel coding ■ Bit-interleaved coded modulation
Literatur	Bossert, M.: Kanalcodierung. Oldenbourg. Friedrichs, B.: Kanalcodierung. Springer. Lin, S., Costello, D.: Error Control Coding. Prentice Hall. Roth, R.: Introduction to Coding Theory. Johnson, S.: Iterative Error Correction. Cambridge. Richardson, T., Urbanke, R.: Modern Coding Theory. Cambridge University Press. Gallager, R. G.: Information theory and reliable communication. Wiley-VCH Cover, T., Thomas, J.: Elements of information theory. Wiley.

Lehrveranstaltung L0438: Information Theory and Coding	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1246: Technischer Ergänzungskurs für IMPICS (laut FSPO)			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Modulverantwortlicher	Prof. Andreas Timm-Giel		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i> <i>Fertigkeiten</i> Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>			
Arbeitsaufwand in Stunden	Abhängig von der Wahl der Lehrveranstaltungen		
Leistungspunkte	12		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Information and Communication Systems: Kernqualifikation: Pflicht		

Modul M1776: Research Project ICS			
Lehrveranstaltungen			
Titel Forschungsprojekt ICS (L2919)	Typ Projektierungskurs	SWS 8	LP 12
Modulverantwortlicher	Prof. Riccardo Scandariato		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	Basic knowledge and techniques in the chosen field of specialization.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Students are able to acquire advanced knowledge in a specific field of Computer Science or a closely related subject.		
<i>Fertigkeiten</i>	Students are able to work self-dependent in a field of Computer Science or a closely related field.		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>			
<i>Selbstständigkeit</i>			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 248, Präsenzstudium 112		
Leistungspunkte	12		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Studienarbeit		
Prüfungsdauer und -umfang	Präsentation eines aktuellen Forschungsthemas (Vortrag 25-30 min und Diskussion 5 min)		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Information and Communication Systems: Kernqualifikation: Pflicht		

Lehrveranstaltung L2919: Research Project ICS	
Typ	Projektierungskurs
SWS	8
LP	12
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 248, Präsenzstudium 112
Dozenten	Dozenten des SD E
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Current research topics of the chosen specialization.
Literatur	Aktuelle Literatur zu Forschungsthemen aus der gewählten Vertiefungsrichtung. / Current literature on research topics of the chosen specialization.

Fachmodule der Vertiefung Kommunikationssysteme

Graduates of the Communication Systems specialisation are qualified to independently resolve problems in communication networks and digital communications. They also have profound knowledge in software development principles and signal processing. Graduates are qualified to independently resolve problems in communication systems technology and related disciplines.

The Communication Systems specialisation is recommended for students who already bring along a good mathematical foundation, basic knowledge in computer science and/or electrical engineering with focus on information and communication technology.

Modul M0676: Digitale Nachrichtenübertragung

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Digitale Nachrichtenübertragung (L0444)	Vorlesung	2	3
Digitale Nachrichtenübertragung (L0445)	Hörsaalübung	2	2
Praktikum Digitale Nachrichtenübertragung (L0646)	Laborpraktikum	1	1

Modulverantwortlicher	Prof. Gerhard Bauch		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Mathematik 1-3 - Signale und Systeme - Einführung in die Nachrichtentechnik und ihre stochastischen Methoden		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Die Studierenden sind in der Lage, moderne digitale Nachrichtenübertragungsverfahren zu verstehen, zu vergleichen und zu entwerfen. Sie sind vertraut mit den Eigenschaften linearer und nicht-linearer digitaler Modulationsverfahren. Sie können die Verzerrungen durch Übertragungskanäle beschreiben sowie Empfänger einschließlich Kanalschätzung und Entzerrung entwerfen und beurteilen. Sie kennen die Prinzipien der Single Carrier- und Multicarrier-Übertragung und die Grundlagen wichtiger Vielfachzugriffsverfahren.		
	Die Studierenden kennen die Vorlesungs- und Übungsinhalte und können diese erläutern sowie auf neue Fragestellungen anwenden.		
<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden sind in der Lage, ein digitales Nachrichtenübertragungsverfahren einschließlich Vielfachzugriff zu analysieren und zu entwerfen. Sie sind in der Lage, ein hinsichtlich Übertragungsrate, Bandbreitebedarf, Fehlerwahrscheinlichkeit und weiterer Signaleigenschaften geeignetes digitales Modulationsverfahren zu wählen. Sie können einen geeigneten Detektor einschließlich Kanalschätzung und Entzerrung entwerfen und dabei Eigenschaften suboptimaler Verfahren hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Aufwand berücksichtigen. Sie sind in der Lage, ein Single-Carrierverfahren oder ein Multicarrier-Verfahren zu dimensionieren und die Eigenschaften beider Ansätze gegeneinander abzuwägen.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	Die Studierenden können in fachspezifische Aufgaben gemeinsam bearbeiten.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden sind in der Lage, die notwendigen Informationen aus geeigneten Literaturquellen selbstständig zu beschaffen und in den Kontext der Vorlesung zu setzen. Sie können ihren Wissensstand mit Hilfe vorlesungsbegleitender Maßnahmen (klausurnahe Aufgaben, Software-Tools, Clicker-System) kontinuierlich überprüfen und auf dieser Basis ihre Lernprozesse steuern.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung
	Ja Keiner	Schriftliche Ausarbeitung	
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Kernqualifikation: Pflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Pflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Elektrotechnik: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Kernqualifikation: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0444: Digital Communications

Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- Repetition: Baseband Transmission - Pulse shaping: Non-return to zero (NRZ) rectangular pulses, raised-cosine pulses, square-root raised-cosine pulses - Power spectral density (psd) of baseband signals

- Intersymbol interference (ISI)
 - First and second Nyquist criterion
 - AWGN channel
 - Matched filter
 - Matched-filter receiver and correlation receiver
 - Noise whitening matched filter
 - Discrete-time AWGN channel model
- Representation of bandpass signals and systems in the equivalent baseband
 - Quadrature amplitude modulation (QAM)
 - Equivalent baseband signal and system
 - Analytical signal
 - Equivalent baseband random process, equivalent baseband white Gaussian noise process
 - Equivalent baseband AWGN channel
 - Equivalent baseband channel model with frequency-offset and phase noise
 - Equivalent baseband Rayleigh fading and Rice fading channel models
 - Equivalent baseband frequency-selective channel model
 - Discrete memoryless channels (DMC)
- Bandpass transmission via carrier modulation
 - Amplitude modulation, frequency modulation, phase modulation
 - Linear digital modulation methods
 - On-off keying, M-ary amplitude shift keying (M-ASK), M-ary phase shift keying (M-PSK), M-ary quadrature amplitude modulation (M-QAM), offset-QPSK
 - Signal space representation of transmit signal constellations and signals
 - Energy of linear digital modulated signals, average energy per symbol
 - Power spectral density of linear digital modulated signals
 - Bandwidth efficiency
 - Correlation coefficient of elementary signals
 - Error probabilities of linear digital modulation methods
 - Error functions
 - Gray mapping and natural mapping
 - Bit error probabilities, symbol error probabilities, pairwise symbol error probabilities
 - Euclidean distance and Hamming distance
 - Exact and approximate computation of error probabilities
 - Performance comparison of modulation schemes in terms of per bit SNR vs. per symbol SNR
 - Hierarchical modulation, multilevel modulation
 - Effects of carrier phase offset and carrier frequency offset
 - Differential modulation
 - M-ary differential phase shift keying (M-PSK)
 - Coherent and non-coherent detection of DPSK
 - p/M-differential phase shift keying (p/M-DPSK)
 - Differential amplitude and phase shift keying (DAPSK)
 - Non-linear digital modulation methods
 - Frequency shift keying (FSK)
 - Modulation index
 - Minimum shift keying (MSK)
 - Offset-QPSK representation of MSK
 - MSK with differential precoding and rotation
 - Bit error probabilities of MSK
 - Gaussian minimum shift keying (GMSK)
 - Power spectral density of MSK and GMSK
 - Continuous phase modulation (CPM)
 - General description of CPM signals
 - Frequency pulses and phase pulses
 - Coherent and non-coherent detection of FSK
 - Performance comparison of linear and non-linear digital modulation methods
- Frequency-selective channels, ISI channels
 - Intersymbol interference and frequency-selectivity
 - RMS delay spread
 - Narrowband and broadband channels
 - Equivalent baseband transmission model for frequency-selective channels
 - Receive filter design
- Equalization
 - Symbol-spaced and fractionally-spaced equalizers
 - Inverse system
 - Non-recursive linear equalizers
 - Linear zero-forcing (ZF) equalizer
 - Linear minimum mean squared error (MMSE) equalizer
 - Non-linear equalization:
 - Decision feedback equalizer (DFE)
 - Tomlinson-Harashima precoding
 - Maximum a posteriori probability (MAP) and maximum likelihood equalizer, Viterbi algorithm
- Single-carrier vs. multi-carrier transmission
- Multi-carrier transmission
 - General multicarrier transmission
 - Orthogonal frequency division multiplex (OFDM)

	■ OFDM implementation using the Fast Fourier Transform (FFT) ■ Cyclic guard interval ■ Power spectral density of OFDM ■ Peak-to-average power ratio (PAPR) • Multiple access ◦ Principles of time division multiple access (TDMA), frequency division multiple access (FDMA), code division multiple access (CDMA), non-orthogonal multiple access (NOMA), hybrid multiple access • Spread spectrum communications ◦ Direct sequence spread spectrum communications ◦ Frequency hopping ◦ Protection against eavesdropping ◦ Protection against narrowband jammers ◦ Short vs. long spreading codes ◦ Direct sequence spread spectrum communications in frequency-selective channels ■ Rake receiver ◦ Code division multiple access (CDMA) ■ Design criteria of spreading sequences, autocorrelation function and crosscorrelation function of spreading sequences ■ Intersymbol interference (ISI) and multiple access interference (MAI) ■ Pseudo noise (PN) sequences, maximum length sequences (m-sequences), Gold codes, Walsh-Hadamard codes, orthogonal variable spreading factor (OVSF) codes ■ Multicode transmission ■ CDMA in uplink and downlink of a wireless communications system ■ Single-user detection vs. multi-user detection
Literatur	K. Kammeyer: Nachrichtenübertragung, Teubner P.A. Höher: Grundlagen der digitalen Informationsübertragung, Teubner. J.G. Proakis, M. Salehi: Digital Communications. McGraw-Hill. S. Haykin: Communication Systems. Wiley R.G. Gallager: Principles of Digital Communication. Cambridge A. Goldsmith: Wireless Communication. Cambridge. D. Tse, P. Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge.

Lehrveranstaltung L0445: Digital Communications	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Lehrveranstaltung L0646: Praktikum Digitale Nachrichtenübertragung	
Typ	Laborpraktikum
SWS	1
LP	1
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 16, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- DSL-Übertragung - Stochastische Prozesse - Digitale Datenübertragung
Literatur	K. Kammeyer: Nachrichtenübertragung, Teubner P.A. Höher: Grundlagen der digitalen Informationsübertragung, Teubner. J.G. Proakis, M. Salehi: Digital Communications. McGraw-Hill. S. Haykin: Communication Systems. Wiley R.G. Gallager: Principles of Digital Communication. Cambridge A. Goldsmith: Wireless Communication. Cambridge. D. Tse, P. Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge.

Modul M0836: Communication Networks			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Ausgewählte Themen der Kommunikationsnetze (L0899)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	2
Kommunikationsnetze (L0897)	Vorlesung	2	2
Übung Kommunikationsnetze (L0898)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	1	2
Modulverantwortlicher	Prof. Andreas Timm-Giel		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Fundamental stochastics - Basic understanding of computer networks and/or communication technologies is beneficial		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Students are able to describe the principles and structures of communication networks in detail. They can explain the formal description methods of communication networks and their protocols. They are able to explain how current and complex communication networks work and describe the current research in these examples.		
<i>Fertigkeiten</i>	Students are able to evaluate the performance of communication networks using the learned methods. They are able to work out problems themselves and apply the learned methods. They can apply what they have learned autonomously on further and new communication networks.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	Students are able to define tasks themselves in small teams and solve these problems together using the learned methods. They can present the obtained results. They are able to discuss and critically analyse the solutions.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students are able to obtain the necessary expert knowledge for understanding the functionality and performance capabilities of new communication networks independently.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Referat		
Prüfungsdauer und -umfang	1,5 Stunden Kolloquium mit je drei Prüflingen, also ca. 30 min je Prüfling. Inhalt des Kolloquiums sind die Poster der vorhergehenden Postersession sowie die Lehrinhalte.		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Regelungs- und Energiesystemtechnik: Wahlpflicht Flugzeug-Systemtechnik: Kernqualifikation: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht Mechatronics: Technischer Ergänzungskurs: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht		
Lehrveranstaltung L0899: Selected Topics of Communication Networks			
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung		
SWS	2		
LP	2		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28		
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel		
Sprachen	EN		
Zeitraum	WiSe		
Inhalt	Example networks selected by the students will be researched on in a PBL course by the students in groups and will be presented in a poster session at the end of the term.		
Literatur	see lecture		

Lehrveranstaltung L0897: Communication Networks	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel, Dr. Koojana Kuladinithi
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	
Literatur	• Skript des Instituts für Kommunikationsnetze • Tannenbaum, Computernetzwerke, Pearson-Studium Further literature is announced at the beginning of the lecture.

Lehrveranstaltung L0898: Communication Networks Exercise	
Typ	Projekt-/problem-basierte Lehrveranstaltung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Part of the content of the lecture Communication Networks are reflected in computing tasks in groups, others are motivated and addressed in the form of a PBL exercise.
Literatur	• announced during lecture

Modul M0710: Hochfrequenztechnik			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Hochfrequenztechnik (L0573)	Vorlesung	2	3
Hochfrequenztechnik (L0574)	Hörsaalübung	2	2
Hochfrequenztechnik (L0575)	Laborpraktikum	1	1
Modulverantwortlicher	Prof. Alexander Kölpin		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Grundlagen der Nachrichtentechnik, Halbleiterelektronik und elektronischer Schaltungen, Grundkenntnisse der Wellenausbreitung aus den Vorlesungen Leitungstheorie und Theoretische Elektrotechnik.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Die Studierenden können Phänomene bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in unterschiedlichen Frequenzbändern erklären. Sie können Übertragungssysteme und die darin enthaltenen Komponenten beschreiben. Sie können einen Überblick über unterschiedliche Antennentypen geben und die grundlegenden Kenngrößen von Antennen beschreiben. Sie können das Rauschen von linearen Schaltungen erklären, Schaltungsvarianten anhand von Kenngrößen vergleichen und für unterschiedliche Situationen die jeweils am besten geeignete wählen.		
<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden sind in der Lage, die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen zu berechnen. Sie können komplette Übertragungssysteme analysieren und einfache Empfängerschaltungen auslegen. Sie können die Eigenschaften und Kenngrößen von einfachen Antennen und Gruppenstrahlern anhand der Geometrie berechnen. Sie können das Rauschen von Empfängern und den Signal-zu-Rausch-Abstand von kompletten Übertragungssystemen berechnen. Die Studierenden können die erlernte Theorie in Praktikumsversuchen anwenden.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	Die Studierenden führen während des Praktikums in Gruppen versuche durch. Sie dokumentieren, diskutieren und bewerten die Ergebnisse gemeinsam.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden sind fähig das erlernte Wissen mit ihren Vorkenntnissen aus anderen Vorlesungen zu verknüpfen. Sie können unter Anleitung für die Lösung spezifischer Probleme notwendige Daten aus externen Quellen, wie Normen oder Literatur, extrahieren und anwenden. Sie sind in der Lage eigenständig und mit Hilfe der Praktikumsdrucke ihr Wissen in die Praxis umzusetzen.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung
	Ja Keiner	Fachtheoretisch- fachpraktische Studienleistung	
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Kernqualifikation: Pflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Elektrotechnik: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0573: Hochfrequenztechnik	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Alexander Kölpin
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- Antennen: Berechnungsgrundlagen - Kenngrößen - Verschiedene Antennenformen - Funkwellenausbreitung - Sender: Leistungserzeugung mit Röhren - Sendeverstärker - Empfänger: Vorverstärker - Überlagerungsempfang - Empfangsempfindlichkeit - Rauschen - Ausgewählte Systembeispiele
Literatur	H.-G. Unger, „Elektromagnetische Theorie für die Hochfrequenztechnik, Teil I“, Hüthig, Heidelberg, 1988 H.-G. Unger, „Hochfrequenztechnik in Funk und Radar“, Teubner, Stuttgart, 1994 E. Voges, „Hochfrequenztechnik - Teil II: Leistungsröhren, Antennen und Funkübertragung, Funk- und Radartechnik“, Hüthig, Heidelberg, 1991 E. Voges, „Hochfrequenztechnik“, Hüthig, Bonn, 2004 C.A. Balanis, „Antenna Theory“, John Wiley and Sons, 1982 R. E. Collin, „Foundations for Microwave Engineering“, McGraw-Hill, 1992 D. M. Pozar, „Microwave and RF Design of Wireless Systems“, John Wiley and Sons, 2001 D. M. Pozar, „Microwave Engineerin“, John Wiley and Sons, 2005

Lehrveranstaltung L0574: Hochfrequenztechnik	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Alexander Kölpin
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Lehrveranstaltung L0575: Hochfrequenztechnik	
Typ	Laborpraktikum
SWS	1
LP	1
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 16, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Alexander Kölpin
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0637: Advanced Concepts of Wireless Communications			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Weiterführende Konzepte der drahtlosen Kommunikation (L0297)	Vorlesung	3	4
Weiterführende Konzepte der drahtlosen Kommunikation (L0298)	Hörsaalübung	2	2
Modulverantwortlicher	Dr. Rainer Grünheid		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Lecture "Signals and Systems" - Lecture "Fundamentals of Telecommunications and Stochastic Processes" - Lecture "Digital Communications"		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<i>Wissen</i> Students are able to explain the general as well as advanced principles and techniques that are applied to wireless communications. They understand the properties of wireless channels and the corresponding mathematical description. Furthermore, students are able to explain the physical layer of wireless transmission systems. In this context, they are proficient in the concepts of multicarrier transmission (OFDM), modulation, error control coding, channel estimation and multi-antenna techniques (MIMO). Students can also explain methods of multiple access. On the example of contemporary communication systems (LTE, 5G) they can put the learnt content into a larger context. The students are familiar with the contents of lecture and tutorials. They can explain and apply them to new problems. <i>Fertigkeiten</i> Using the acquired knowledge, students are able to understand the design of current and future wireless systems. Moreover, given certain constraints, they can choose appropriate parameter settings of communication systems. Students are also able to assess the suitability of technical concepts for a given application. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> Students can jointly elaborate tasks in small groups and present their results in an adequate fashion. <i>Selbstständigkeit</i> Students are able to extract necessary information from given literature sources and put it into the perspective of the lecture. They can continuously check their level of expertise with the help of accompanying measures (such as online tests, clicker questions, exercise tasks) and, based on that, to steer their learning process accordingly. They can relate their acquired knowledge to topics of other lectures, e.g., "Fundamentals of Communications and Stochastic Processes" and "Digital Communications".		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 Minuten; Umfang: Inhalt von Vorlesung und Übung		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0297: Advanced Concepts of Wireless Communications	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Dr. Rainer Grünheid
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	The lecture deals with technical principles and related concepts of mobile communications. In this context, the main focus is put on the physical and data link layer of the ISO-OSI stack. In the lecture, the transmission medium, i.e., the mobile radio channel, serves as the starting point of all considerations. The characteristics and the mathematical descriptions of the radio channel are discussed in detail. Subsequently, various physical layer aspects of wireless transmission are covered, such as channel coding, modulation/demodulation, channel estimation, synchronization, and equalization. Moreover, the different uses of multiple antennas at the transmitter and receiver, known as MIMO techniques, are described. Besides these physical layer topics, concepts of multiple access schemes in a cellular network are outlined. In order to illustrate the above-mentioned technical solutions, the lecture will also provide a system view, highlighting the basics of some contemporary wireless systems, including LTE, LTE Advanced, and 5G New Radio.
Literatur	John G. Proakis, Masoud Salehi: Digital Communications. 5th Edition, Irwin/McGraw Hill, 2007 David Tse, Pramod Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge, 2005 Bernard Sklar: Digital Communications: Fundamentals and Applications. Second Edition, Pearson, 2013 Stefani Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker: LTE - The UMTS Long Term Evolution. Second Edition, Wiley, 2011 Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld: 5G NR - The Next Generation Wireless Access Technology. Second Edition, Academic Press, 2021

Lehrveranstaltung L0298: Advanced Concepts of Wireless Communications	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dr. Rainer Grünheid
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0837: Simulation of Communication Networks				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Simulation von Kommunikationsnetzen (L0887)		Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	5	6
Modulverantwortlicher	Prof. Andreas Timm-Giel			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	• Knowledge of computer and communication networks • Basic programming skills			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz				
Wissen	Students are able to explain the necessary stochastics, the discrete event simulation technology and modelling of networks for performance evaluation.			
Fertigkeiten	Students are able to apply the method of simulation for performance evaluation to different, also not practiced, problems of communication networks. The students can analyse the obtained results and explain the effects observed in the network. They are able to question their own results.			
Personale Kompetenzen				
Sozialkompetenz	Students are able to acquire expert knowledge in groups, present the results, and discuss solution approaches and results. They are able to work out solutions for new problems in small teams.			
Selbstständigkeit	Students are able to transfer independently and in discussion with others the acquired method and expert knowledge to new problems. They can identify missing knowledge and acquire this knowledge independently.			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Keine			
Prüfung	Mündliche Prüfung			
Prüfungsdauer und -umfang	30 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Flugzeug-Systemtechnik: Kernqualifikation: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Simulationstechnik: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Simulationstechnik: Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L0887: Simulation of Communication Networks	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	5
LP	6
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	In the course necessary basic stochastics and the discrete event simulation are introduced. Also simulation models for communication networks, for example, traffic models, mobility models and radio channel models are presented in the lecture. Students work with a simulation tool, where they can directly try out the acquired skills, algorithms and models. At the end of the course increasingly complex networks and protocols are considered and their performance is determined by simulation.
Literatur	• Skript des Instituts für Kommunikationsnetze Further literature is announced at the beginning of the lecture.

Modul M0638: Modern Wireless Systems

Lehrveranstaltungen

Titel		Typ	SWS	LP
Ausgewählte Themen moderner Funksysteme (L1982)		Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Moderne Funksysteme (L0296)		Vorlesung	3	3
Modulverantwortlicher	Dr. Rainer Grünheid			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	• Lecture "Digital Communications" • Lecture "Advanced Concepts of Wireless Communications"			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Students have an overview of a variety of contemporary wireless systems of different size and complexity. They understand the technical solutions from the perspective of the physical and data link layer. They have developed a system view and are aware of the technical arguments, considering the respective applications and associated constraints. For several examples (e.g., 5G New Radio), students are able to explain different concepts in a very deep technical detail.			
<i>Fertigkeiten</i>	The students are familiar with the contents of lecture and PBL course. They can explain and apply them to new problems.			
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	Students have developed a system view. They can transfer their knowledge to evaluate other systems, not discussed in the lecture, and to understand the respective technical solutions. Given specific constraints and technical requirements, students are in a position to make proposals for certain design aspects by an appropriate assessment and the consideration of alternatives.			
<i>Selbstständigkeit</i>	Students can jointly elaborate tasks in small groups and present their results in an adequate fashion.			
	Students are able to extract necessary information from given literature sources and put it into the perspective of the lecture. They can continuously check their level of expertise with the help of accompanying measures (such as online tests, clicker questions, exercise tasks) and, based on that, to steer their learning process accordingly. They can relate their acquired knowledge to topics of other lectures, e.g., "Digital Communications" and "Advanced Topics of Wireless Communications".			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Verpflichtend Bonus Ja Keiner	Art der Studienleistung Fachtheoretisch- fachpraktische Studienleistung	Beschreibung PBL-Kurs mit Posterpräsentation	
Prüfung	Mündliche Prüfung			
Prüfungsdauer und -umfang	40 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L1982: Selected Topics of Modern Wireless Systems

Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dr. Rainer Grünheid
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	In this course, selected "hot" topics of modern wireless systems will be covered. For that purpose, students work in small groups to elaborate a given subject, including a quantitative analysis with provided simulation tools. The results will be presented in a poster session or a talk towards the end of the semester. Possible topics can include various system concepts and related technical principles, such as: - WLAN systems 5G systems - Millimeter wave communication - Visible light communication - Cooperative Multipoint - Massive MIMO - Massive machine-type communication - Interference cancellation - Non-orthogonal multiple access - Heterogeneous networks ...
Literatur	will be provided, depending on the given topics

Lehrveranstaltung L0296: Modern Wireless Systems	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 48, Präsenzstudium 42
Dozenten	Dr. Rainer Grünheid
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	The lecture gives an overview of contemporary wireless communication concepts and related techniques from a system point of view. For that purpose, different systems, ranging from Wireless Personal to Wide Area Networks, are covered, mainly discussing the physical and data link layer. Systems under consideration include: - Near Field Communication (NFC) - ZigBee / IEEE 802.15.4 - Bluetooth - IEEE 802.11 family - L-band Digital Aeronautical Communication System (LDACS) - Long Term Evolution (LTE) and LTE Advanced - 5G New Radio A special focus is placed on 4th and 5th generation networks; in particular, an in-depth view into the technical principles of the 5G New Radio standard is given.
Literatur	John G. Proakis, Masoud Salehi: Digital Communications. 5th Edition, Irwin/McGraw Hill, 2007 Stefani Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker: LTE - The UMTS Long Term Evolution. Second Edition, Wiley, 2011 Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Sköld: 5G NR - The Next Generation Wireless Access Technology. Second Edition, Academic Press, 2021

Modul M1564: Hauptseminare Informatik und Kommunikationstechnik

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Hauptseminar Informatik und Kommunikationstechnik I (L2352)	Seminar	2	3
Hauptseminar Informatik und Kommunikationstechnik II (L2429)	Seminar	2	3
Modulverantwortlicher	Dozenten des SD E		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Grundlegende Module aus der Informatik und Mathematik auf Masterebene.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<i>Wissen</i> Die Studierenden können • ein spezifisches Thema der Informatik erklären, • komplexe Sachverhalte beschreiben, • unterschiedliche Standpunkte darlegen und kritisch bewerten. <i>Fertigkeiten</i> Die Studierenden können • sich in einer begrenzten Zeit in ein spezifisches Thema der Informatik einarbeiten, • eine Literaturrecherche durchführen und die Quellen richtig zitieren und angeben, • selbstständig einen Vortrag ausarbeiten und vor ausgewählten Publikum halten, • den Vortrag in einem Abstract zusammenfassen, • im Rahmen der Diskussion Fachfragen beantworten. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> Die Studierenden sind in der Lage, • ein Thema für eine bestimmte Zielgruppe aufzuarbeiten und darzustellen, • mit der Betreuerin bzw. dem Betreuer das Thema sowie Inhalt und Aufbau des Vortrages zu diskutieren, • einzelne Aspekte aus dem Themengebiet mit den Zuhörerinnen und Zuhörern durchzusprechen, • als Vortragende bzw. Vortragender auf die Fragen der Zuhörerinnen und Zuhörer einzugehen. <i>Selbstständigkeit</i> Die Studierenden werden die Lage versetzt, • eigenständig Aufgaben zu definieren, • notwendiges Wissen zu erschließen, • geeignete Hilfsmittel einzusetzen, • unter Anleitung der Betreuerin bzw. des Betreuers den Arbeitsstand kritisch zu überprüfen.		
Arbeitsaufwand in Stunden			
Leistungspunkte			
Studienleistung			
Prüfung			
Prüfungsdauer und -umfang			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung IV. Fachspezifische Fokussierung: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2352: Advanced Seminar Computer Science and Communication Technology I

Typ	Seminar
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dozenten des SD E
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe/SoSe
Inhalt	- Seminar presentations by enrolled students about selected topics of computer science and communication technology - Active participation in discussions
Literatur	Wird vom Veranstalter bekanntgegeben.

Lehrveranstaltung L2429: Hauptseminar Informatik und Kommunikationstechnik II

Typ	Seminar
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dozenten des SD E
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe/SoSe
Inhalt	
Literatur	

Fachmodule des Schwerpunktes Signalverarbeitung

Modul M0738: Digital Audio Signal Processing

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Digitale Audiosignalverarbeitung (L0650)	Vorlesung	3	4
Digitale Audiosignalverarbeitung (L0651)	Hörsaalübung	1	2

Modulverantwortlicher	Prof. Udo Zölzer
------------------------------	------------------

Zulassungsvoraussetzungen	None
----------------------------------	------

Empfohlene Vorkenntnisse	Signals and Systems
---------------------------------	---------------------

Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht
---	---

Fachkompetenz	
<i>Wissen</i>	Die Studierenden können die grundlegenden Verfahren und Methoden der digitalen Audiosignalverarbeitung erklären. Sie können die wesentlichen physikalischen Effekte bei der Sprach- und Audiosignalverarbeitung erläutern und in Kategorien einordnen. Sie können einen Überblick der numerischen Methoden und messtechnischen Charakterisierung von Algorithmen zur Audiosignalverarbeitung geben. Sie können die erarbeiteten Algorithmen auf weitere Anwendungen im Bereich der Informationstechnik und Informatik abstrahieren.
<i>Fertigkeiten</i>	The students will be able to apply methods and techniques from audio signal processing in the fields of mobile and internet communication. They can rely on elementary algorithms of audio signal processing in form of Matlab code and interactive JAVA applets. They can study parameter modifications and evaluate the influence on human perception and technical applications in a variety of applications beyond audio signal processing. Students can perform measurements in time and frequency domain in order to give objective and subjective quality measures with respect to the methods and applications.
Personale Kompetenzen	
<i>Sozialkompetenz</i>	The students can work in small groups to study special tasks and problems and will be enforced to present their results with adequate methods during the exercise.
<i>Selbstständigkeit</i>	The students will be able to retrieve information out of the relevant literature in the field and put it into the context of the lecture. They can relate their gathered knowledge and relate them to other lectures (signals and systems, digital communication systems, image and video processing, and pattern recognition). They will be prepared to understand and communicate problems and effects in the field audio signal processing.

Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56
----------------------------------	-------------------------------------

Leistungspunkte	6
------------------------	---

Studienleistung	Keine
------------------------	-------

Prüfung	Klausur
----------------	---------

Prüfungsdauer und -umfang	60 min
----------------------------------	--------

Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht
---	--

Lehrveranstaltung L0650: Digital Audio Signal Processing	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Udo Zölzer
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	• Introduction (Studio Technology, Digital Transmission Systems, Storage Media, Audio Components at Home) • Quantization (Signal Quantization, Dither, Noise Shaping, Number Representation) • AD/DA Conversion (Methods, AD Converters, DA Converters, Audio Processing Systems, Digital Signal Processors, Digital Audio Interfaces, Single-Processor Systems, Multiprocessor Systems) • Equalizers (Recursive Audio Filters, Nonrecursive Audio Filters, Multi-Complementary Filter Bank) • Room Simulation (Early Reflections, Subsequent Reverberation, Approximation of Room Impulse Responses) • Dynamic Range Control (Static Curve, Dynamic Behavior, Implementation, Realization Aspects) • Sampling Rate Conversion (Synchronous Conversion, Asynchronous Conversion, Interpolation Methods) • Data Compression (Lossless Data Compression, Lossy Data Compression, Psychoacoustics, ISO-MPEG1 Audio Coding)
Literatur	- U. Zölzer, Digitale Audiosignalverarbeitung, 3. Aufl., B.G. Teubner, 2005. - U. Zölzer, Digitale Audio Signal Processing, 2nd Edition, J. Wiley & Sons, 2005. - U. Zölzer (Ed), Digital Audio Effects, 2nd Edition, J. Wiley & Sons, 2011.

Lehrveranstaltung L0651: Digital Audio Signal Processing	
Typ	Hörsaalübung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Udo Zölzer
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0677: Digital Signal Processing and Digital Filters			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Digitale Signalverarbeitung und Digitale Filter (L0446)	Vorlesung	3	4
Digitale Signalverarbeitung und Digitale Filter (L0447)	Hörsaalübung	2	2
Modulverantwortlicher	Prof. Gerhard Bauch		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Mathematics 1-3 - Signals and Systems - Fundamentals of signal and system theory as well as random processes. - Fundamentals of spectral transforms (Fourier series, Fourier transform, Laplace transform)		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<i>Wissen</i> The students know and understand basic algorithms of digital signal processing. They are familiar with the spectral transforms of discrete-time signals and are able to describe and analyse signals and systems in time and image domain. They know basic structures of digital filters and can identify and assess important properties including stability. They are aware of the effects caused by quantization of filter coefficients and signals. They are familiar with the basics of adaptive filters. They can perform traditional and parametric methods of spectrum estimation, also taking a limited observation window into account. The students are familiar with the contents of lecture and tutorials. They can explain and apply them to new problems. <i>Fertigkeiten</i> The students are able to apply methods of digital signal processing to new problems. They can choose and parameterize suitable filter structures. In particular, they can design adaptive filters according to the minimum mean squared error (MMSE) criterion and develop an efficient implementation, e.g. based on the LMS or RLS algorithm. Furthermore, the students are able to apply methods of spectrum estimation and to take the effects of a limited observation window into account. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> The students can jointly solve specific problems. <i>Selbstständigkeit</i> The students are able to acquire relevant information from appropriate literature sources. They can control their level of knowledge during the lecture period by solving tutorial problems, software tools, clicker system.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Regelungs- und Energiesystemtechnik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Mechanical Engineering and Management: Vertiefung Mechatronik: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Intelligente Systeme und Robotik: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0446: Digital Signal Processing and Digital Filters	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- Transforms of discrete-time signals: - Discrete-time Fourier Transform (DTFT) - Discrete Fourier-Transform (DFT), Fast Fourier Transform (FFT) - Z-Transform - Correspondence of continuous-time and discrete-time signals, sampling, sampling theorem - Fast convolution, Overlap-Add-Method, Overlap-Save-Method - Fundamental structures and basic types of digital filters - Characterization of digital filters using pole-zero plots, important properties of digital filters - Quantization effects - Design of linear-phase filters - Fundamentals of stochastic signal processing and adaptive filters - MMSE criterion - Wiener Filter - LMS- and RLS-algorithm - Traditional and parametric methods of spectrum estimation
Literatur	K.-D. Kammeyer, K. Kroschel: Digitale Signalverarbeitung. Vieweg Teubner. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, J. R. Buck: Zeitdiskrete Signalverarbeitung. Pearson StudiumA. V. W. Hess: Digitale Filter. Teubner. Oppenheim, R. W. Schaffer: Digital signal processing. Prentice Hall. S. Haykin: Adaptive filter theory. L. B. Jackson: Digital filters and signal processing. Kluwer. T.W. Parks, C.S. Burrus: Digital filter design. Wiley.

Lehrveranstaltung L0447: Digital Signal Processing and Digital Filters	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0556: Computer Graphics			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Computer-Grafik (L0145)	Vorlesung	2	3
Computer-Grafik (L0768)	Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Tobias Knopp		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	• Linear Algebra (in particular matrix/vector computation) • Basic programming skills in C/C++		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Students can explain and describe basic algorithms in 3D computer graphics.		
<i>Fertigkeiten</i>	Students are capable of • implementing a basic 3D rendering pipeline. This consists of projecting simple 3D structures (e.g. cube, spheres) onto a 2D surface using a virtual camera. • apply geometric transformations (e.g. rotation, scaling) in 2D and 3D computer graphics. • using well-known 2D/3D APIs (OpenGL, Cairo) for solving a given problem statement.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	Students can collaborate in a small team on the realization and validation of a 3D computer graphics pipeline.		
<i>Selbstständigkeit</i>	• Students are able to solve simple tasks independently with reference to the contents of the lectures and the exercise sets. • Students are able to solve detailed problems independently with the aid of the tutorial's programming task.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0145: Computer Graphics	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Computer graphics and animation are leading to an unprecedented visual revolution. The course deals with its technological foundations: • Object-oriented Computer Graphics • Projections and Transformations • Polygonal and Parametric Modelling • Illuminating, Shading, Rendering • Computer Animation Techniques • Kinematics and Dynamics Effects Students will be working on a series of mini-projects which will eventually evolve into a final project. Learning computer graphics and animation resembles learning a musical instrument. Therefore, doing your projects well and in time is essential for performing well on this course.
Literatur	Alan H. Watt: 3D Computer Graphics. Harlow: Pearson (3rd ed., repr., 2009). Dariush Derakhshani: Introducing Autodesk Maya 2014. New York, NY : Wiley (2013).

Lehrveranstaltung L0768: Computer Graphics	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1700: Satellite Communications and Navigation

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Funkbasierte Positionierung und Navigation (L2711)	Vorlesung	2	3
Satellitenkommunikation (L2710)	Vorlesung	3	3
Modulverantwortlicher	Prof. Gerhard Bauch		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	The module is designed for a diverse audience, i.e. students with different background. Basic knowledge of communications engineering and signal processing are of advantage but not required. The course intends to provide the chapters on communications techniques such that on the one hand students with a communications engineering background learn additional concepts and examples (e.g. modulation and coding schemes or signal processing concepts) which have not or in a different way been treated in our other bachelor and master courses. On the other hand, students with other background shall be able to grasp the ideas but may not be able to understand in the same depth. The individual background of the students will be taken into consideration in the oral exam.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	The students are able to understand, compare and analyse digital satellite communications system as well as navigation techniques. They are familiar with principal ideas of the respective communications, signal processing and positioning methods. They can describe distortions and resulting limitations caused by transmission channels and hardware components. They can describe how fundamental communications and navigation techniques are applied in selected practical systems. The students are familiar with the contents of lecture and tutorials. They can explain and apply them to new problems.		
<i>Fertigkeiten</i>	The students are able to describe and analyse digital satellite communications systems and navigation systems. They are able to analyse transmission chains including link budget calculations. They are able to choose appropriate transmission technologies and system parameters for given scenarios.		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	The students can jointly solve specific problems.		
<i>Selbstständigkeit</i>	The students are able to acquire relevant information from appropriate literature sources.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	30 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2711: Radio-Based Positioning and Navigation

Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch, Dr. Rico Mendrzik
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	- Information extraction from communication signals - Time-of-arrival principle - Ranging in additive white Gaussian noise (AWGN) channel - Correlation-based range estimation - Effect of multipath propagation on time-of-arrival principle - Zero-forcing range estimation in the presence of multipath - Optimum range estimation in the presence of multipath - Zero-forcing in presence of noise - Angle-of-arrival principle - Angle-of-arrival estimation in AWGN channel - Delay-and-sum estimator - Multiple Signal Classifier (MUSIC) - MUSIC-based angle-of-arrival estimation - Case study: Comparison of estimators in AWGN channels - Effect of multipath propagation on angle-of-arrival principle - Case study: Comparison of estimators in multipath channels

- Information fusion of extracted signals
 - Distance-based positioning
 - Principle of time-of-arrival positioning
 - Geometric interpretation
 - Positioning in the absence of noise
 - Linearization of the positioning problem
 - Positioning in the presence of noise
 - Optimality criteria
 - Least squares time-of-arrival positioning
 - Maximum likelihood time-of-arrival positioning
 - Interactive Matlab demo
 - Excursion: gradient descent solvers for nonlinear programs
 - Real-life positioning with embedded development board (Arduino)
 - Linearized least squares time-of-arrival positioning
 - Effect of clock offsets on distance-based positioning
 - Time-difference-of-arrival principle
 - Least squares time-difference-of-arrival positioning
 - Clock offset mitigation via two-way ranging
 - Performance limits of distance-based positioning
 - Fisher information and the Cramér-Rao lower bound
 - Fisher information in the AWGN case
 - Multi-variate Fisher information
 - Cramér-Rao lower bound for synchronized time-of-arrival positioning
 - Case study: Synchronized time-of-arrival positioning
 - Cramér-Rao lower bound for unsynchronized time-of-arrival positioning
 - Case study: Unsynchronized time-of-arrival positioning
 - Angle-based Positioning
 - Angle-of-arrival positioning principle
 - Geometric interpretation angle-of-arrival positioning principle
 - Noise-free angle-of-arrival positioning with known orientation
 - Effect of noise on angle-of-arrival positioning
 - Least squares angle-of-arrival positioning with known orientation
 - Linear least squares angle-of-arrival positioning
 - Effect of orientation uncertainty
 - Angle-difference-of-arrival positioning
 - Geometric interpretation angle difference of arrival positioning
 - Proof of angle-difference-of-arrival locus
 - Inscribed angle lemma
 - Case study: Angle-difference-of-arrival-positioning
 - Performance limits of angle-based positioning
 - Cramér-Rao lower bound for angle-of-arrival positioning with known orientation
 - Case study: Angle-of-arrival positioning with known orientation
- Information Filtering
 - Bayesian filtering
 - Principle of Bayesian filtering
 - General Problem Formulation
 - Solution to the linear Gaussian case
 - State transition in the linear Gaussian case
 - Proof of predicted posterior distribution of the Kalman filter
 - State update in the linear Gaussian case
 - Proof of marginal posterior distribution of the Kalman filter
 - Working with Gaussian random variables
 - Proof: Affine transformation
 - Proof: Marginalization
 - Proof: Conditioning
 - Kalman filter: Optimum Inference in the linear Gaussian case
 - Modeling of process noise
 - Modeling of measurement noise
 - Case study: Kalman filtering in the linear Gaussian case
 - Interactive Kalman filtering in Matlab
 - Dealing with nonlinearities in Bayesian filtering
 - Nonlinear Gaussian case
 - Extended Kalman filter
 - Proof of predicted posterior distribution of the extended Kalman filter
 - Proof of marginal posterior distribution of the extended Kalman filter
 - Example: Nonlinear state transition
 - Case study: Extended Kalman filtering
 - Practical considerations for filter design
- Satellite Navigation
 - Overview from positioning perspective
 - Earth-centered earth-fixed (ECEF) coordinate system
 - World geodetic system (WGS)
 - Satellite navigation systems
 - System-receiver clock offsets and pseudo-ranges

	■ Unsynchronized time-of-arrival positioning revisited ◦ GPS legacy signals and ranging ■ Signal overview ■ Time-of-arrival principle revisited ■ Direct sequence spread spectrum principle ■ Short and long codes ■ Satellite signal generation ■ Carriers and codes ■ Correlation properties of codes ■ Code division multiple access in flat fading channels ■ Navigation message ◦ Velocity estimation ◦ Hands-on case study: Design of an extended Kalman filter for satellite navigation based on recorded data • Robust navigation ◦ Multipath-assisted positioning in millimeter wave multiple antenna systems ◦ Multi-sensor fusion
Literatur	

Lehrveranstaltung L2710: Satellite Communications	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 48, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Introduction to satellite communications ◦ What is a satellite ◦ Overview orbits, Van Allen Belt, components of a satellite ◦ Satellite services ◦ Frequency bands for satellite services ◦ International Telecommunications Union (ITU) ◦ Influence of atmospheric impairments ◦ Milestones in satellite communications • Components of a satellite communications system ◦ Ground segment ◦ Space segment ◦ Control segment • Communication links ◦ Uplink, downlink ◦ Forward link, reverse link ◦ Intersatellite links ◦ Multiple access ◦ Performance measures ■ Effective isotropic radiated power (EIRP), antenna gain, figure of merit, G/T, carrier to noise ratio ■ Signal to noise power ratio vs. carrier to noise ratio • Single beam and multibeam satellites ◦ Beam coverage ◦ Examples for beam coverage of LEO and GEO satellites (Iridium, Viasat) • Transparent vs. regenerative payload • Orbits ◦ Low earth orbit (LEO), medium earth orbit (MEO), geosynchronous and geostationary orbits (GEO), highly elliptical orbits (HEO) ◦ Favourable orbits: ■ HEO orbits with 63-64° inclination, Molnya and Tundra orbits ■ Circular LEO orbits ■ Circular MEO Orbits (Intermediate Circular Orbits (ICO)) ■ Equatorial orbits, geostationary orbit (GEO) ◦ Important aspects of LEO, MEO and GEO satellites • Kepler's laws of planetary motion • Gravitational force • Parameters of ellipses and elliptical orbits ◦ Major and minor half axis ◦ Foci ◦ Eccentricity ◦ Eccentric anomaly, mean anomaly, true anomaly ◦ Area ◦ Orbit period ◦ Perigee, apogee ◦ Distance of satellite from center of earth ◦ Construction of ellipses according to de La Hire ◦ Orbital plane in space, inclination, right ascension (longitude) of ascending node, Vernal equinox

- Newton's laws of motion
- Newton's universal law of gravitation
- Energy of satellites: Potential energy, kinetic energy, total energy
- Instantaneous speed of a satellite
- Kepler's equation
- Satellite visibility, elevation
- Required number of LEO, MEO or GEO satellites for continuous earth coverage
- Satellite altitude and distance from a point on earth
- Choice of orbits
 - LEO, HEO, GEO
 - Elliptical orbits with non-zero inclination, Molnya orbits, Tundra orbits
 - Geosynchronous orbits
 - Parameters of geosynchronous orbits
 - Circular geosynchronous orbits
 - Inclined geosynchronous orbits
 - Quasi-zenith satellite systems (QZSS)
 - Syb-synchronous circular equatorial orbits
 - Geostationary orbit
 - Parameters of the geostationary orbit
 - Visibility
 - Propagation delay
 - Applications and system examples
- Perturbations of orbits
 - Station keeping
 - Station keeping box
 - Estimation of orbit parameters
- Fundamentals of digital communications techniques
 - Components of a digital communications system
 - Principles of encryption
 - Scrambling
 - Scrambling vs. interleaving for randomization of data sequences
 - Interleaving: Block interleaver, convolutional interleaver, random interleaver
 - Digital modulation methods
 - Linear and non-linear digital modulation methods
 - Linear digital modulation methods
 - QAM modulator and demodulator
 - Pulse shaping, square-root raised-cosine pulses
 - Average power spectral density
 - Signal space constellation
 - Examples: M-ary phase shift keying (M-PSK), M-ary quadrature amplitude shift keying (M-QAM)
 - M-PSK in noisy channels
 - Bit error probabilities of M-PSK and M-QAM
 - M-PSK vs. M-QAM
 - M-ary amplitude and phase shift keying (M-APSK)
 - M-APSK vs. M-QAM
 - Differential phase shift keying (DPSK)

Error control coding (channel coding)

- Error detecting and forward error correcting (FEC) codes
- Principle of channel coding
- Data rate, code rate, Baud rate, spectral efficiency of modulation and coding schemes
- Bandwidth-power trade-off, bandwidth-limited vs. power-limited transmission
- Coding and modulation for transparent vs. regenerative payload
- Block codes and convolutional codes
- Concatenated codes
- Bit-interleaved coded modulation
- Convolutional codes
- Low density parity check (LDPC) codes, principle of message passing decoding, bit error rate performance
- Cyclic block codes
 - Examples for cyclic block codes
 - Single errors vs. block errors, cyclic block codes for burst errors
 - Generator matrix, generator polynomials
 - Systematic encoding and syndrome determination with shift registers
 - Cyclic redundancy check (CRC) codes
- Automatic repeat request (ARQ)
 - Principle of ARQ
 - Stop-and-wait ARQ
 - Go-back-N ARQ
 - Selective-repeat ARQ
- Transmission gains and losses

	◦ Antenna gain ■ Antenna radiation pattern ■ Maximum antenna gain, 3dB beamwidth ■ Maximum antenna gain of circular aperture ■ Maximum antenna gain of a geostationary satellite with global coverage ◦ Effective isotropic radiated power (EIRP) ◦ Power flux density ◦ Path loss ■ Free space loss, free space loss for geostationary satellites ■ Atmospheric loss ■ Received power ◦ Losses in transmit and receive equipment ■ Feeder loss ■ Depointing loss ■ Polarization mismatch loss ◦ Combined effect of losses • Noise ◦ Origins of noise ◦ White noise ◦ Noise power spectral density and noise power ◦ Additive white Gaussian noise (AWGN) channel model ◦ Antenna noise temperature ◦ Earth brightness temperature ◦ Signal to noise ratios • Atmospheric distortions ◦ Atmosphere of the earth: Troposphere, stratosphere, mesosphere, thermosphere, exosphere ◦ Attenuation and depolarization due to rain, fog, rain and ice clouds, sandstorms ◦ Scintillation ◦ Faraday effect ◦ Multipath contributions • Link budget calculations ◦ GEO clear sky uplink and downlink ◦ GEO uplink and downlink under rain conditions ◦ Transparent vs. regenerative payload • Link availability improvement through site diversity and adaptive transmission ◦ Transparent vs. regenerative payload ■ Non-linear amplifiers ■ Saleh model, Rapp model ■ Input and output back-off factor ■ Single carrier and multicarrier operation ■ Dimensioning of transmission parameters ■ Sources of noise: Thermal noise, interference, intermodulation products ■ Signal to noise ratio and bit error probability ■ Robustness against interference and non-linear channels • Satellite networks ◦ Satellite network reference architectures ◦ Network topologies ◦ Network connectivity ■ Types of network connectivity ■ On-board connectivity ■ Inter-satellite links ◦ Broadcast networks ◦ Satellite-based internet • Satellite communications systems and standards examples ◦ The role of standards in satellite communications ◦ The Digital Video Broadcast Satellite Standard: DVB-S, DVB-S2, DVB-S2X ◦ Satellites in 3GPP mobile communications networks ◦ LEO megaconstellations: SpaceX Starlink, Kuiper, OneWeb ◦ Space debris ◦ The German Heinrich Hertz mission
Literatur	

Modul M1702: Process Imaging			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Prozessbildgebung (L2723)		Vorlesung	3 3
Prozessbildgebung (L2724)		Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	3 3
Modulverantwortlicher	Prof. Alexander Penn		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	No special prerequisites needed		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Content: The module focuses primarily on discussing established imaging techniques including (a) optical and infrared imaging, (b) magnetic resonance imaging, (c) X-ray imaging and tomography, and (d) ultrasound imaging but also covers a range of more recent imaging modalities. The students will learn: 1. what these imaging techniques can measure (such as sample density or concentration, material transport, chemical composition, temperature), 2. how the measurements work (physical measurement principles, hardware requirements, image reconstruction), and 3. how to determine the most suited imaging methods for a given problem. Learning goals: After the successful completion of the course, the students shall: 1. understand the physical principles and practical aspects of the most common imaging methods, 2. be able to assess the pros and cons of these methods with regard to cost, complexity, expected contrasts, spatial and temporal resolution, and based on this assessment 3. be able to identify the most suited imaging modality for any specific engineering challenge in the field of chemical and bioprocess engineering.		
<i>Fertigkeiten</i>			
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	In the problem-based interactive course, students work in small teams and set up two process imaging systems and use these systems to measure relevant process parameters in different chemical and bioprocess engineering applications. The teamwork will foster interpersonal communication skills.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students are guided to work in self-motivation due to the challenge-based character of this module. A final presentation improves presentation skills.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 96, Präsenzstudium 84		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	120 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Bioverfahrenstechnik: Vertiefung A - Allgemeine Bioverfahrenstechnik: Wahlpflicht Bioverfahrenstechnik: Vertiefung B - Industrielle Bioverfahrenstechnik: Wahlpflicht Bioverfahrenstechnik: Vertiefung C - Bioökonomische Verfahrenstechnik, Schwerpunkt Energie und Bioprozesstechnik: Wahlpflicht Chemical and Bioprocess Engineering: Vertiefung Allgemeine Verfahrenstechnik: Wahlpflicht Chemical and Bioprocess Engineering: Vertiefung Bioverfahrenstechnik: Wahlpflicht Chemical and Bioprocess Engineering: Vertiefung Chemische Verfahrenstechnik: Wahlpflicht Computer Science: Vertiefung II. Intelligenz-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Verfahrenstechnik und Biotechnologie: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht Verfahrenstechnik: Vertiefung Allgemeine Verfahrenstechnik: Wahlpflicht Verfahrenstechnik: Vertiefung Chemische Verfahrenstechnik: Wahlpflicht Verfahrenstechnik: Vertiefung Umweltverfahrenstechnik: Wahlpflicht Wasser- und Umweltingenieurwesen: Vertiefung Umwelt: Wahlpflicht Wasser- und Umweltingenieurwesen: Vertiefung Wasser: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2723: Process Imaging	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 48, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Alexander Penn
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	
Literatur	Wang, M. (2015). Industrial Tomography. Cambridge, UK: Woodhead Publishing. Available as e-book in the library of TUHH: https://katalog.tub.tuhh.de/Record/823579395

Lehrveranstaltung L2724: Process Imaging	
Typ	Projekt-/problem-basierte Lehrveranstaltung
SWS	3
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 48, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Alexander Penn, Dr. Stefan Benders
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Content: The module focuses primarily on discussing established imaging techniques including (a) optical and infrared imaging, (b) magnetic resonance imaging, (c) X-ray imaging and tomography, and (d) ultrasound imaging and also covers a range of more recent imaging modalities. The students will learn: 1. what these imaging techniques can measure (such as sample density or concentration, material transport, chemical composition, temperature), 2. how the measurements work (physical measurement principles, hardware requirements, image reconstruction), and 3. how to determine the most suited imaging methods for a given problem. Learning goals: After the successful completion of the course, the students shall: 1. understand the physical principles and practical aspects of the most common imaging methods, 2. be able to assess the pros and cons of these methods with regard to cost, complexity, expected contrasts, spatial and temporal resolution, and based on this assessment 3. be able to identify the most suited imaging modality for any specific engineering challenge in the field of chemical and bioprocess engineering.
Literatur	Wang, M. (2015). Industrial Tomography. Cambridge, UK: Woodhead Publishing. Available as e-book in the library of TUHH: https://katalog.tub.tuhh.de/Record/823579395

Modul M1598: Bildverarbeitung					
Lehrveranstaltungen					
Titel		Typ	SWS	LP	
Bildverarbeitung (L2443)		Vorlesung	2	4	
Bildverarbeitung (L2444)		Gruppenübung	2	2	
Modulverantwortlicher	Prof. Tobias Knopp				
Zulassungsvoraussetzungen	Keine				
Empfohlene Vorkenntnisse	Signal und Systeme				
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht				
Fachkompetenz					
Wissen					Die Studierenden kennen • Visuelle Wahrnehmung • Mehrdimensionale Signalverarbeitung • Abtastung und Abtasttheorem • Filterung • Bildverbesserung • Kantendetektion • Mehrfachauflösende Verfahren: Gauss- und Laplace-Pyramide, Wavelets • Bildkompression • Segmentierung • Morphologische Bildverarbeitung
Fertigkeiten					Die Studierenden können • multidimensionale Bilddaten analysieren, bearbeiten, verbessern • einfache Kompressionsalgorithmen implementieren • eigene Filter für konkrete Anwendungen entwerfen
Personale Kompetenzen					
Sozialkompetenz					Die Studierenden können in sowohl selbstständig als auch in Teams an komplexen Problemen arbeiten. Sie können sich untereinander austauschen und ihre individuellen Stärken zur Lösung des Problems einbringen.
Selbstständigkeit	Die Studierenden sind in der Lage ein komplexes Problem eigenständig zu untersuchen und einzuschätzen, welche Kompetenzen zur Lösung des Problems benötigt werden.				
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56				
Leistungspunkte	6				
Studienleistung	Keine				
Prüfung	Klausur				
Prüfungsdauer und -umfang	90 min				
Zuordnung zu folgenden Curricula	Data Science: Kernqualifikation: Wahlpflicht Data Science: Vertiefung I. Mathematik/Informatik: Wahlpflicht Data Science: Vertiefung II. Computer Science: Wahlpflicht Data Science: Vertiefung IV. Special Focus Area: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Medizintechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Intelligente Systeme und Robotik: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Systementwurf: Wahlpflicht Mechatronics: Kernqualifikation: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht				

Lehrveranstaltung L2443: Bildverarbeitung	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 92, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	• Visuelle Wahrnehmung • Mehrdimensionale Signalverarbeitung • Abtastung und Abtasttheorem • Filterung • Bildverbesserung • Kantendetektion • Mehrfachauflösende Verfahren: Gauss- und Laplace-Pyramide, Wavelets • Bildkompression • Segmentierung • Morphologische Bildverarbeitung
Literatur	Bredies/Lorenz, Mathematische Bildverarbeitung, Vieweg, 2011 Pratt, Digital Image Processing, Wiley, 2001 Bernd Jähne: Digitale Bildverarbeitung - Springer, Berlin 2005

Lehrveranstaltung L2444: Bildverarbeitung	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Fachmodule des Schwerpunktes Software

Modul M0753: Software Verification

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Softwareverifikation (L0629)	Vorlesung	2	3
Softwareverifikation (L0630)	Gruppenübung	2	3

Modulverantwortlicher	Prof. Sibylle Schupp
------------------------------	----------------------

Zulassungsvoraussetzungen	None
----------------------------------	------

Empfohlene Vorkenntnisse	- Automata theory and formal languages - Computational logic - Object-oriented programming, algorithms, and data structures - Functional programming or procedural programming - Concurrency
---------------------------------	--

Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht
---	---

Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Students apply the major verification techniques in model checking and deductive verification. They explain in formal terms syntax and semantics of the underlying logics, and assess the expressivity of different logics as well as their limitations. They classify formal properties of software systems. They find flaws in formal arguments, arising from modeling artifacts or underspecification.
<i>Fertigkeiten</i>	Students formulate provable properties of a software system in a formal language. They develop logic-based models that properly abstract from the software under verification and, where necessary, adapt model or property. They construct proofs and property checks by hand or using tools for model checking or deductive verification, and reflect on the scope of the results. Presented with a verification problem in natural language, they select the appropriate verification technique and justify their choice.
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	Students discuss relevant topics in class. They defend their solutions orally. They communicate in English.
<i>Selbstständigkeit</i>	Using accompanying on-line material for self study, students can assess their level of knowledge continuously and adjust it appropriately. Working on exercise problems, they receive additional feedback. Within limits, they can set their own learning goals. Upon successful completion, students can identify and precisely formulate new problems in academic or applied research in the field of software verification. Within this field, they can conduct independent studies to acquire the necessary competencies and compile their findings in academic reports. They can devise plans to arrive at new solutions or assess existing ones.

Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56
----------------------------------	-------------------------------------

Leistungspunkte	6
------------------------	---

Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung
Ja	15 %	Übungsaufgaben	

Prüfung	Klausur
----------------	---------

Prüfungsdauer und -umfang	90 min
----------------------------------	--------

Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Pflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht
---	--

Lehrveranstaltung L0629: Software Verification

Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3

Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
----------------------------------	------------------------------------

Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
-----------------	----------------------

Sprachen	EN
-----------------	----

Zeitraum	WiSe
-----------------	------

Inhalt	- Model checking (bounded model checking, CTL, LTL) - Real-time model checking (TCTL, timed automata) - Deductive verification (Hoare logic) - Tool support - Recent developments of verification techniques and applications
---------------	---

Literatur	C. Baier and J-P. Katoen, Principles of Model Checking, MIT Press 2007. M. Huth and M. Bryan, Logic in Computer Science. Modelling and Reasoning about Systems, 2nd Edition, 2004. - Selected Research Papers
------------------	---

Lehrveranstaltung L0630: Software Verification	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0733: Software Analysis				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Softwareanalyse (L0631)		Vorlesung	2	3
Softwareanalyse (L0632)		Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher		Prof. Sibylle Schupp		
Zulassungsvoraussetzungen		None		
Empfohlene Vorkenntnisse		• Basic knowledge of software-engineering activities • Discrete algebraic structures • Object-oriented programming, algorithms, and data structures • Functional programming or Procedural programming		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse		Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz		Students apply the major approaches to data-flow analysis, control-flow analysis, and type-based analysis, along with their classification schemes, and employ abstract interpretation. They explain the standard forms of internal representations and models, including their mathematical structure and properties, and evaluate their suitability for a particular analysis. They explain and categorize the major analysis algorithms. They distinguish precise solutions from approximative approaches, and show termination and soundness properties. Presented with an analytical task for a software artifact, students select appropriate approaches from software analysis, and justify their choice. They design suitable representations by modifying standard representations. They develop customized analyses and devise them as safe overapproximations. They formulate analyses in a formal way and construct arguments for their correctness, behavior, and precision. Students discuss relevant topics in class. They defend their solutions orally. They communicate in English. Using accompanying on-line material for self study, students can assess their level of knowledge continuously and adjust it appropriately. Working on exercise problems, they receive additional feedback. Within limits, they can set their own learning goals. Upon successful completion, students can identify and precisely formulate new problems in academic or applied research in the field of software analysis. Within this field, they can conduct independent studies to acquire the necessary competencies and compile their findings in academic reports. They can devise plans to arrive at new solutions or assess existing ones.		
<i>Wissen</i>				
<i>Fertigkeiten</i>				
Personale Kompetenzen				
<i>Sozialkompetenz</i>				
<i>Selbstständigkeit</i>				
Arbeitsaufwand in Stunden		Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte		6		
Studienleistung		Keine		
Prüfung		Fachtheoretisch-fachpraktische Arbeit		
Prüfungsdauer und -umfang		siehe englisch		
Zuordnung zu folgenden Curricula		Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0631: Software Analysis	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	• Modeling: Control-Flow Modeling, Data Dependences, Intermediate Languages) • Classical Bit-Vector Analyses (Reaching Definition, Very Busy Expressions, Liveness, Available Expressions, May/Must, Forward/Backward) • Monotone Frameworks (Lattices, Transfer Functions, Ascending Chain Condition, Distributivity, Constant Propagation) • Theory of Data-Flow Analysis (Tarski's Fixed Point Theorem, Data-Flow Equations, MFP Solution, MOP Solution, Worklist Algorithm) • Non-Classical Data-Flow Analyses • Abstract Interpretation (Galois Connections, Approximating Fixed Points, Construction Techniques) • Type Systems (Type Derivation, Inference Trees, Algorithm W, Unification) • Recent Developments of Analysis Techniques and Applications
Literatur	• Flemming Nielsen, Hanne Nielsen, and Chris Hankin. Principles of Program Analysis. Springer, 2nd. ed. 2005. • Uday Khedker, Amitabha Sanyal, and Bageshri Karkara. Data Flow Analysis: Theory and Practice. CRC Press, 2009. • Benjamin Pierce, Types and Programming Languages, MIT Press. • Selected research papers

Lehrveranstaltung L0632: Software Analysis	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1397: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen				
Lehrveranstaltungen				
Titel			Typ	SWS LP
Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen (L1979)			Vorlesung	2 3
Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen (L1980)			Gruppenübung	2 3
Modulverantwortlicher	Prof. Görschwin Fey			
Zulassungsvoraussetzungen	Keine			
Empfohlene Vorkenntnisse	Grundlegende Kenntnisse zu Datenstrukturen und Algorithmen			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Studierende kennen - Algorithmen und Datenstrukturen für die Modellprüfung, - grundlegende Beweisverfahren sowie - den Einfluss der Modellierung und Spezifikation auf den Rechenaufwand für den Nachweis mittels Modellprüfung.			
<i>Fertigkeiten</i>	Studierende können - Algorithmen und Datenstrukturen zur Modellprüfung erläutern und implementieren - abschätzen, ob sich eine Problemstellung mittels Boolescher Beweisverfahren oder Modellprüfung beantworten lässt, und - solche Lösungsverfahren realisieren.			
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	Studierende können - die jeweiligen Konzepte diskutieren und erläutern sowie - die Lösungen mündlich darstellen.			
<i>Selbstständigkeit</i>	Studierende erlernen mittels Zusatzmaterial selbständig vertiefende Zusammenhänge der Konzepte aus der Vorlesung und erweiterte Lösungsverfahren.			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Verpflichtend Ja	Bonus Keiner	Art der Studienleistung Fachtheoretisch-fachpraktische Studienleistung	Beschreibung Die Aufgabe wird im Rahmen von Vorlesung und Prüfung definiert. Die Lösung der Aufgabe ist Zulassungsvoraussetzung für die Prüfung.
Prüfung	Mündliche Prüfung			
Prüfungsdauer und -umfang	30 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L1979: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Görschwin Fey
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Correctness is a major concern in embedded systems. Model checking can fully automatically proof formal properties about digital hardware or software. Such properties are given in temporal logic, e.g., to prove "No two orthogonal traffic lights will ever be green." And how do the underlying reasoning algorithms work so effectively in practice despite a computational complexity of NP hardness and beyond? But what are the limitations of model checking? How are the models generated from a given design? The lecture will answer these questions. Open source tools will be used to gather a practical experience. Among other topics, the lecture will consider the following topics: • Modelling digital Hardware, Software, and Cyber Physical Systems • Data structures, decision procedures and proof engines ◦ Binary Decision Diagrams ◦ And-Inverter-Graphs ◦ Boolean Satisfiability ◦ Satisfiability Modulo Theories • Specification Languages ◦ CTL ◦ LTL ◦ System Verilog Assertions • Algorithms for ◦ Reachability Analysis ◦ Symbolic CTL Checking ◦ Bounded LTL-Model Checking ◦ Optimizations, e.g., induction, abstraction • Quality assurance
Literatur	Edmund M. Clarke, Jr., Orna Grumberg, and Doron A. Peled. 1999. <i>Model Checking</i>. MIT Press, Cambridge, MA, USA. A. Biere, A. Biere, M. Heule, H. van Maaren, and T. Walsh. 2009. <i>Handbook of Satisfiability: Volume 185 Frontiers in Artificial Intelligence and Applications</i>. IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands. Selected research papers

Lehrveranstaltung L1980: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Görschwin Fey
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1301: Software Testing				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Softwaretesten (L1791)		Vorlesung	2	3
Softwaretesten (L1792)		Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Sibylle Schupp			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	• Software Engineering • Higher Programming Languages • Object-Oriented Programming • Algorithms and Data Structures • Experience with (Small) Software Projects • Statistics			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz	Students explain the different phases of testing, describe fundamental techniques of different types of testing, and paraphrase the basic principles of the corresponding test process. They give examples of software development scenarios and the corresponding test type and technique. They explain algorithms used for particular testing techniques and describe possible advantages and limitations. Students identify the appropriate testing type and technique for a given problem. They adapt and execute respective algorithms to execute a concrete test technique properly. They interpret testing results and execute corresponding steps for proper re-test scenarios. They write and analyze test specifications. They apply bug finding techniques for non-trivial problems.			
Wissen				
Fertigkeiten				
Personale Kompetenzen	Students discuss relevant topics in class. They defend their solutions orally. They communicate in English. Students can assess their level of knowledge continuously and adjust it appropriately, based on feedback and on self-guided studies. Within li own learning goals. Upon successful completion, students can identify and precisely formulate new problems in academic or applied research testing. Within this field, they can conduct independent studies to acquire the necessary competencies and compile their findings in acad devise plans to arrive at new solutions or assess existing ones			
Sozialkompetenz				
Selbstständigkeit				
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Keine			
Prüfung	Fachtheoretisch-fachpraktische Arbeit			
Prüfungsdauer und -umfang	Software			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : W			

Lehrveranstaltung L1791: Software Testing	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Fundamentals of software testing • Model-based testing • Test automation • Criteria-based testing
Literatur	• M. Pezze and M. Young, Software Testing and Analysis, John Wiley 2008. • P. Ammann and J. Offutt, "Introduction to Software Testing", 2nd edition 2016. • A. Zeller: "Why Programs Fail: A Guide to Systematic Debugging", 2nd edition 2012.

Lehrveranstaltung L1792: Software Testing	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Fundamentals of software testing • Model-based testing • Test automation • Criteria-based testing
Literatur	• M. Pezze and M. Young, Software Testing and Analysis, John Wiley 2008. • P. Ammann and J. Offutt, "Introduction to Software Testing", 2nd edition 2015.

Modul M1682: Secure Software Engineering

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Entwicklung von sicherer Software (L2667)	Vorlesung	2	3
Entwicklung von sicherer Software (L2668)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Riccardo Scandariato		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	Familiarity with basic software engineering concepts (e.g., requirements, design) and basic security concepts (e.g., confidentiality, integrity, availability)		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Students can: - Elicit security requirements in a software project - Model and document security measures in a software design - Use threat and risk analysis techniques - Understand how security code reviews are performed - Understand the core definitions of concepts related to privacy - Understand privacy enhancing technologies		
Personale Kompetenzen <i>Fertigkeiten</i>	Select appropriate security assurance techniques to be used in a security assurance program		
<i>Sozialkompetenz</i>	None		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students can apply the knowledge acquired throughout the course to the resolution of industrial case studies. Students should also be capable to acquire new knowledge independently from academic publications, technical standards, and white papers.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	120 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2667: Secure Software Engineering

Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	- Secure software development processes and maturity models - Techniques to define security requirements - Techniques to create, document and analyse the design of secure applications - Threat and risk analysis techniques - Security code reviews - Program repair techniques for security vulnerabilities - Privacy engineering
Literatur	Sindre, G. and Opdahl, A.L., 2005. Eliciting security requirements with misuse cases. Requirements engineering, 10(1), pp.34-44. Fontaine, P.J., Van Lamsweerde, A., Letier, E. and Darimont, R., 2001. Goal-oriented elaboration of security requirements. Mead, N.R. and Stehney, T., 2005. Security quality requirements engineering (SQUARE) methodology. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 30(4), pp.1-7. Mirakhorli, M., Shin, Y., Cleland-Huang, J. and Cinar, M., 2012, June. A tactic-centric approach for automating traceability of quality concerns. In 2012 34th international conference on software engineering (ICSE) (pp. 639-649). IEEE. Jürjens, J., UMLsec: Extending UML for secure systems development, International Conference on The Unified Modeling Language, 2002 Lund, M.S., Solhaug, B. and Stølen, K., 2011. A guided tour of the CORAS method. In Model-Driven Risk Analysis (pp. 23-43). Springer, Berlin, Heidelberg. Howard, M.A., 2006. A process for performing security code reviews. IEEE Security & privacy, 4(4), pp.74-79 Diaz, C. and Gürses, S., 2012. Understanding the landscape of privacy technologies. Proceedings of the information security summit, 12, pp.58-63.

Lehrveranstaltung L2668: Secure Software Engineering	
Typ	Projekt-/problem-basierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Secure software development processes and maturity models • Techniques to define security requirements • Techniques to create, document and analyse the design of secure applications • Threat and risk analysis techniques • Security code reviews • Program repair techniques for security vulnerabilities • Privacy engineering
Literatur	

Modul M1774: Advanced Internet Computing

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Advanced Internet Computing (L2916)	Vorlesung	2	3
Advanced Internet Computing (L2917)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Stefan Schulte		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	Good programming skills are necessary. Previous knowledge in the field of distributed systems is helpful.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	After successful completion of the course, students are able to: - Describe basic concepts of Cloud Computing, the Internet of Things (IoT), and blockchain technologies - Discuss and assess critical aspects of Cloud Computing, the IoT, and blockchain technologies - Select and apply cloud and IoT technologies for particular application areas - Design and develop practical solutions for the integration of smart objects in IoT, Cloud, and blockchain software - Implement IoT services		
<i>Fertigkeiten</i>	The students acquire the ability to model Internet-based distributed systems and to work with these systems. This comprises especially the ability to select and utilize fitting technologies for different application areas. Furthermore, students are able to critically assess the chosen technologies.		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	Students can work on complex problems both independently and in teams. They can exchange ideas with each other and use their individual strengths to solve the problem.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students are able to independently investigate a complex problem and assess which competencies are required to solve it.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Fachtheoretisch-fachpraktische Arbeit		
Prüfungsdauer und -umfang	Gruppenprojekt mit Präsentation (50 %), schriftlicher Test (60 min, 50 %)		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2916: Advanced Internet Computing

Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Stefan Schulte
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	This lecture discusses modern Internet-based distributed systems in three blocks: (i) Cloud computing, (ii) the Internet of Things, and (iii) blockchain technologies. The following topics will be covered in the single lectures: - Cloud Computing - Elastic Computing - Technologies for identification for the IoT: RFID & EPC - Communication in the IoT: Standards and protocols - Security and trust in the IoT: Concerns and solution approaches - Edge and Fog Computing - Application areas: Smart factories, smart cities, smart healthcare - Blockchain technologies - Consensus
Literatur	Will be discussed in the lecture

Lehrveranstaltung L2917: Advanced Internet Computing	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Stefan Schulte
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	This project-/problemoriented part of the module augments the theoretical content of the lecture by a concrete technical problem, which needs to be solved by the students in group work during the semester. Possible topics are (blockchain-based) sensor data integration, Big Data processing, Cloud-based redundant data storages, and Cloud-based Onion Routing.
Literatur	Will be discussed in the lecture.

Modul M0924: Software für Eingebettete Systeme			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Software für Eingebettete Systeme (L1069)	Vorlesung	2	3
Software für Eingebettete Systeme (L1070)	Gruppenübung	3	3
Modulverantwortlicher	Prof. Bernd-Christian Renner		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	• Sehr gute Kenntnisse und praktische Erfahrung in der Programmiersprache C • Grundkenntnisse in Softwaretechnik • Prinzipielles Verständnis von Assembler Sprachen		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<i>Wissen</i> Studierende können die grundlegende Prinzipien und Vorgehensweisen für die Erstellung von Software für eingebettete Systeme erklären. Sie sind in der Lage, ereignisbasierte Programmier Techniken mittels Interrupts zu beschreiben. Sie kennen den Aufbau und Funktion eines konkreten Mikrocontrollers. Die Teilnehmer sind in der Lage, Anforderungen an Echtzeitsysteme zu erläutern. Sie können mindestens drei Scheduling Algorithmen für Echtzeitbetriebssysteme erläutern (einschließlich Vor- und Nachteile) <i>Fertigkeiten</i> Studierende erstellen interrupt-basierte Programme für einen konkreten Mikrocontroller. Sie erstellen und benutzen einen preemptiven scheduler. Sie setzen periphere Komponenten (Timer, ADCs, EEPROM) für komplexe Aufgaben eingebetteter System ein. Für den Anschluss externer Komponenten setzen sie serielle Protokolle ein. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung
	Nein 10 %	Testate	
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Mechatronics: Technischer Ergänzungskurs: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Intelligente Systeme und Robotik: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Systementwurf: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Embedded Systems: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L1069: Software für Eingebettete Systeme	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Bernd-Christian Renner
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• General-Purpose Processors • Programming the Atmel AVR • Interrupts • C für Embedded Systems • Standard Single Purpose Processors: Peripherals • Finite-State Machines • Speicher • Betriebssystem für Eingebettete Systeme • Echtzeit Eingebettete Systeme
Literatur	1. Embedded System Design, F. Vahid and T. Givargis, John Wiley 2. Programming Embedded Systems: With C and Gnu Development Tools, M. Barr and A. Massa, O'Reilly 3. C und C++ für Embedded Systems, F. Bollow, M. Homann, K. Köhn, MITP 4. The Art of Designing Embedded Systems, J. Ganssle, Newnes 5. Mikrocomputertechnik mit Controllern der Atmel AVR-RISC-Familie, G. Schmitt, Oldenbourg 6. Making Embedded Systems: Design Patterns for Great Software, E. White, O'Reilly

Lehrveranstaltung L1070: Software für Eingebettete Systeme	
Typ	Gruppenübung
SWS	3
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 48, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Bernd-Christian Renner
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1785: Machine Learning in Electrical Engineering and Information Technology			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
General Introduction Machine Learning (L3004)	Vorlesung	1	2
Machine Learning Applications in Electric Power Systems (L3008)	Vorlesung	1	1
Machine Learning in Electromagnetic Compatibility (EMC) Engineering (L3006)	Vorlesung	1	1
Machine Learning in High-Frequency Technology and Radar (L3007)	Vorlesung	1	1
Machine Learning in Wireless Communications (L3005)	Vorlesung	1	1
Modulverantwortlicher	Prof. Gerhard Bauch		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	The module is designed for a diverse audience, i.e. students with different background. It shall be suitable for both students with deeper knowledge in machine learning methods but less knowledge in electrical engineering, e.g. math or computer science students, and students with deeper knowledge in electrical engineering but less knowledge in machine learning methods, e.g. electrical engineering students. Machine learning methods will be explained on a relatively high level indicating mainly principle ideas. The focus is on specific applications in electrical engineering and information technology. The chapters of the course will be understandable in different depth depending on the individual background of the student. The individual background of the students will be taken into consideration in the oral exam.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i> <i>Fertigkeiten</i> Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	30 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung HF-Technik, Optik und Elektromagnetische Verträglichkeit: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Regelungs- und Energiesystemtechnik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L3004: General Introduction Machine Learning	
Typ	Vorlesung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Dr. Maximilian Stark
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• From Rule-Based Systems to Machine Learning ◦ Brief overview recent advances in ML in various domain ◦ Outline and expected learning outcomes ◦ Basics statistical inference and statistics ◦ Basics of information theory • The Notions of Learning in Machine Learning ◦ Unsupervised and supervised machine learning ◦ Model-based and data-driven machine learning ◦ Hybrid modelling ◦ Online/offline/meta/transfer learning ◦ General loss functions • Introduction to Deep Learning ◦ Variants of neural networks ◦ MLP ◦ Conv. neural networks ◦ Recurrent neural networks ◦ Training neural networks ◦ (Stochastic) Gradient Descent • Regression vs. Classification ◦ Classification as supervised learning problem ◦ Hands-On Session • Representation Learning and Generative Models ◦ AutoEncoders ◦ Directed Generative Models ◦ Undirected Generative Models ◦ Generative Adversarial Neural Networks • Probabilistic Graphical Models ◦ Bayesian Networks ◦ Variational inference (variational autoencoder)
Literatur	

Lehrveranstaltung L3008: Machine Learning Applications in Electric Power Systems	
Typ	Vorlesung
SWS	1
LP	1
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 16, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Christian Becker, Dr. Davood Babazadeh
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	
Literatur	

Lehrveranstaltung L3006: Machine Learning in Electromagnetic Compatibility (EMC) Engineering	
Typ	Vorlesung
SWS	1
LP	1
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 16, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Christian Schuster, Dr. Cheng Yang
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Electromagnetic Compatibility (EMC) Engineering deals with design, simulation, measurement, and certification of electronic and electric components and systems in such a way that their operation is safe, reliable, and efficient in any possible application. Safety is hereby understood as safe with respect to parasitic effects of electromagnetic fields on humans as well as on the operation of other components and systems nearby. Examples for components and systems range from the wiring in aircraft and ships to high-speed interconnects in server systems and wireless interfaces for brain implants. In this part of the course we will give an introduction to the physical basics of EMC engineering and then show how methods of Machine Learning (ML) can be applied to expand today's physics-based approaches in EMC Engineering.
Literatur	

Lehrveranstaltung L3007: Machine Learning in High-Frequency Technology and Radar	
Typ	Vorlesung
SWS	1
LP	1
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 16, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Alexander Kölpin, Dr. Fabian Lurz
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	
Literatur	

Lehrveranstaltung L3005: Machine Learning in Wireless Communications	
Typ	Vorlesung
SWS	1
LP	1
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 16, Präsenzstudium 14
Dozenten	Dr. Maximilian Stark
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Supervised Learning Application - Channel Coding ◦ Recap channel coding and block codes ◦ Block codes as trainable neural networks ◦ Tanner graph with trainable weights ◦ Hands-on session • Supervised Learning Application - Modulation Detection ◦ Recap wireless modulation schemes ◦ Convolutional neuronal networks for blind detection of modulation schemes ◦ Hands-on session • Autoencoder Application - Constellation Shaping I ◦ Recap channel capacity and constellation shaping, ◦ Capacity achieving machine learning systems ◦ Information theoretical explanation of the autoencoder training ◦ Hands-on session • Autoencoder Application - Constellation Shaping II ◦ Training without a channel model ◦ Mutual information neural estimator ◦ Hands-on session • Generative Adversarial Network Application - Channel Modelling ◦ Recap realistic channels with non-linear hardware impairments ◦ Training a digital twin of a realistic channel with insufficient training data ◦ Hands-on session • Recurrent Neural Network Application - Channel prediction ◦ Recap time-varying channel models ◦ Recurrent neural networks for temporal prediction ◦ Hands-on session
Literatur	

Modul M1794: Applied Cryptography				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Angewandte Kryptographie (L2954)		Vorlesung	3	4
Angewandte Kryptographie (L2955)		Gruppenübung	1	2
Modulverantwortlicher	Prof. Sibylle Fröschle			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse				
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz				
Wissen				
Fertigkeiten				
Personale Kompetenzen				
Sozialkompetenz				
Selbstständigkeit				
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung	
	Nein 10 %	Übungsaufgaben	Die Übungsaufgaben finden semesterbegleitend statt	
Prüfung	Klausur			
Prüfungsdauer und -umfang	120 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht			
	Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L2954: Applied Cryptography	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Sibylle Fröschle
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	This module provides a comprehensive knowledge in modern cryptography and how it plays a key role in securing the digital world we live in today. We will thoroughly treat cryptographic primitives such as symmetric and asymmetric encryption schemes, cryptographic hash functions, message authentication codes, and digital signatures. Moreover, we will cover aspects of practical deployment such as key management, public key infrastructures, and secure storage of keys. We will see how everything comes together in applications such as the ubiquitous security protocols of the Internet (e.g. TLS and WPA3) and/or the Internet-of-things. We also discuss current challenges such as the need for post-quantum cryptography.
Literatur	Introduction to Modern Cryptography, Third Edition, Jonathan Katz and Jehuda Lindell, Chapman & Hall/CRC, 2021 Sicherheit und Kryptographie im Internet, 5th Edition, Jörg Schwenk, Springer-Verlag, 2020

Lehrveranstaltung L2955: Applied Cryptography	
Typ	Gruppenübung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Sibylle Fröschle
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	See corresponding lecture
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1780: Massively Parallel Systems: Architecture and Programming				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Massiv parallele Systeme: Architektur und Programmierung (L2936)		Vorlesung	2	3
Massiv parallele Systeme: Architektur und Programmierung (L2937)		Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Sohan Lal			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	An introductory module on computer Engineering or computer architecture, good programming skills in C/C++.			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz				
Wissen	The course starts with parallel computers classification, multithreading, and covers the architecture of centralized and distributed shared-memory parallel systems, multiprocessor cache coherence, snooping / directory-based cache coherence protocols, implementation, and limitations. Next, students study interconnection networks and routing in parallel systems. To ensure the correctness of shared-memory multithreaded programs, independent of the speed of execution of their individual threads, the important topics of memory consistency and synchronization will be covered in detail. As a case study, the architecture of a few accelerators such as GPUs will also be discussed in detail. Besides understanding the architecture and organization of parallel systems, programming them is also very challenging. The course will also cover how to program massively parallel systems using API/libraries such as CUDA/OpenCL/MPI/OpenMP.			
Fertigkeiten	After completing this course, students will be able to understand the architecture and organization of parallel systems. They will be able to evaluate different design choices and make decisions while designing a parallel system. In addition, they will be able to program parallel systems (ranging from an embedded system to a supercomputer) using CUDA/OpenCL/MPI/OpenMP.			
Personale Kompetenzen				
Sozialkompetenz	The course will encourage students to work in small groups to solve complex problems, thus, inculcating the importance of teamwork.			
Selbstständigkeit	Today, parallel computers are present everywhere. Students will be able to not only program parallel computers independently, but also understand their underlying organization and architecture. This will further help to understand the performance issues of parallel applications and provide insights to improve them.			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung	
	Ja 20 %	Fachtheoretisch-fachpraktische Studienleistung		
Prüfung	Mündliche Prüfung			
Prüfungsdauer und -umfang	25 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Data Science: Vertiefung II. Computer Science: Wahlpflicht Data Science: Vertiefung IV. Special Focus Area: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Embedded Systems: Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L2936: Massively Parallel Systems: Architecture and Programming	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sohan Lal
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Brief outline: - Parallel computers and their classification - Centralized and distributed shared-memory architectures: snooping vs directory-based cache coherence protocols, implementation, and limitations - Chip multiprocessors: software-based, block (coarse-grain), interleaved (fine-grain), simultaneous multithreading - Synchronization: high-level primitives and implementation, memory consistency models: sequential and weaker memory consistency models - Interconnection networks: topologies (direct and indirect networks) and routing techniques - Graphics Processing Units (GPUs) architecture and programming using CUDA/OpenCL - Parallel programming with message passing interface (MPI), OpenMP
Literatur	- Michel Dubois, Murali Annavaram, and Per Stenström, Parallel Computer Organization and Design (Book) - David A Patterson and John L. Hennessy, Computer Architecture: A Quantitative Approach, Elsevier (Book) - David B. Kirk, Wen-mei W. Hwu, Programming Massivley Parallel Processors, Elsevier (Book)

Lehrveranstaltung L2937: Massively Parallel Systems: Architecture and Programming	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sohan Lal
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	There will be 3-4 assignments for project-based learning consisting of the following: - Implement and compare different cache coherence protocols using a simulator or a high-level, event-driven simulation interface such as SystemC - Programming massively parallel systems to solve computationally intensive problems such as password cracking using CUDA/OpenCL/MPI/OpenMP
Literatur	The following literature will be useful for project-based learning. The further required resources will be discussed during the course. - David B. Kirk, Wen-mei W. Hwu, Programming Massivley Parallel Processors, Elsevier (Book) - MPI Forum, https://www.mpi-forum.org/ - SystemC, https://www.accellera.org/community/systemc

Fachmodule der Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme

Graduates of the Secure and Dependable IT Systems specialisation acquire extensive knowledge in software verification and IT security. They also have knowledge in communication networks and signal processing. They are able to apply methods and procedures required to work on secure and dependable IT systems, as well as critically examine new insights to further develop and incorporate in their work.

The Secure and Dependable IT Systems specialisation is recommended for students who already have a good mathematical foundation and basic knowledge in computer science and software development.

Modul M0753: Software Verification			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Softwareverifikation (L0629)	Vorlesung	2	3
Softwareverifikation (L0630)	Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Sibylle Schupp		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Automata theory and formal languages - Computational logic - Object-oriented programming, algorithms, and data structures - Functional programming or procedural programming - Concurrency		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Students apply the major verification techniques in model checking and deductive verification. They explain in formal terms syntax and semantics of the underlying logics, and assess the expressivity of different logics as well as their limitations. They classify formal properties of software systems. They find flaws in formal arguments, arising from modeling artifacts or underspecification.		
<i>Fertigkeiten</i>	Students formulate provable properties of a software system in a formal language. They develop logic-based models that properly abstract from the software under verification and, where necessary, adapt model or property. They construct proofs and property checks by hand or using tools for model checking or deductive verification, and reflect on the scope of the results. Presented with a verification problem in natural language, they select the appropriate verification technique and justify their choice.		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	Students discuss relevant topics in class. They defend their solutions orally. They communicate in English.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Using accompanying on-line material for self study, students can assess their level of knowledge continuously and adjust it appropriately. Working on exercise problems, they receive additional feedback. Within limits, they can set their own learning goals. Upon successful completion, students can identify and precisely formulate new problems in academic or applied research in the field of software verification. Within this field, they can conduct independent studies to acquire the necessary competencies and compile their findings in academic reports. They can devise plans to arrive at new solutions or assess existing ones.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung
	Ja 15 %	Übungsaufgaben	
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Pflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0629: Software Verification	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- Model checking (bounded model checking, CTL, LTL) - Real-time model checking (TCTL, timed automata) - Deductive verification (Hoare logic) - Tool support - Recent developments of verification techniques and applications
Literatur	C. Baier and J-P. Katoen, Principles of Model Checking, MIT Press 2007. M. Huth and M. Bryan, Logic in Computer Science. Modelling and Reasoning about Systems, 2nd Edition, 2004. - Selected Research Papers

Lehrveranstaltung L0630: Software Verification	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0942: Software Security			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Software-Sicherheit (L1103)	Vorlesung	2	3
Software-Sicherheit (L1104)	Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Riccardo Scandariato		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	Familiarity with C/C++, web programming		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Students can - name the main causes for security vulnerabilities in software - explain current methods for identifying and avoiding security vulnerabilities - explain the fundamental concepts of code-based access control		
<i>Fertigkeiten</i>	Students are capable of - performing a software vulnerability analysis - developing secure code		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	None		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students are capable of acquiring knowledge independently from professional publications, technical standards, and other sources, and are capable of applying newly acquired knowledge to new problems.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	120 Minuten		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L1103: Software Security	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- Reliability and Software Security - Attacks exploiting character and integer representations - Buffer overruns - Vulnerabilities in memory management: double free attacks - Race conditions - SQL injection - Cross-site scripting and cross-site request forgery - Testing for security; taint analysis - Type safe languages - Development processes for secure software - Code-based access control
Literatur	M. Howard, D. LeBlanc: Writing Secure Code, 2nd edition, Microsoft Press (2002) G. Hoglund, G. McGraw: Exploiting Software, Addison-Wesley (2004) L. Gong, G. Ellison, M. Dageforde: Inside Java 2 Platform Security, 2nd edition, Addison-Wesley (2003) B. LaMacchia, S. Lange, M. Lyons, R. Martin, K. T. Price: .NET Framework Security, Addison-Wesley Professional (2002) D. Gollmann: Computer Security, 3rd edition (2011)

Lehrveranstaltung L1104: Software Security	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1397: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen (L1979)	Vorlesung	2	3
Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen (L1980)	Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Görschwin Fey		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Grundlegende Kenntnisse zu Datenstrukturen und Algorithmen		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Studierende kennen - Algorithmen und Datenstrukturen für die Modellprüfung, - grundlegende Beweisverfahren sowie - den Einfluss der Modellierung und Spezifikation auf den Rechenaufwand für den Nachweis mittels Modellprüfung.		
<i>Fertigkeiten</i>	Studierende können - Algorithmen und Datenstrukturen zur Modellprüfung erläutern und implementieren - abschätzen, ob sich eine Problemstellung mittels Boolescher Beweisverfahren oder Modellprüfung beantworten lässt, und - solche Lösungsverfahren realisieren.		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	Studierende können - die jeweiligen Konzepte diskutieren und erläutern sowie - die Lösungen mündlich darstellen.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Studierende erlernen mittels Zusatzmaterial selbständig vertiefende Zusammenhänge der Konzepte aus der Vorlesung und erweiterte Lösungsverfahren.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend Ja	Bonus Keiner	Beschreibung Die Aufgabe wird im Rahmen von Vorlesung und Prüfung definiert. Die Lösung der Aufgabe ist Zulassungsvoraussetzung für die Prüfung.
		Art der Studienleistung Fachtheoretisch-fachpraktische Studienleistung	
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	30 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L1979: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Görschwin Fey
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Correctness is a major concern in embedded systems. Model checking can fully automatically proof formal properties about digital hardware or software. Such properties are given in temporal logic, e.g., to prove "No two orthogonal traffic lights will ever be green." And how do the underlying reasoning algorithms work so effectively in practice despite a computational complexity of NP hardness and beyond? But what are the limitations of model checking? How are the models generated from a given design? The lecture will answer these questions. Open source tools will be used to gather a practical experience. Among other topics, the lecture will consider the following topics: • Modelling digital Hardware, Software, and Cyber Physical Systems • Data structures, decision procedures and proof engines ◦ Binary Decision Diagrams ◦ And-Inverter-Graphs ◦ Boolean Satisfiability ◦ Satisfiability Modulo Theories • Specification Languages ◦ CTL ◦ LTL ◦ System Verilog Assertions • Algorithms for ◦ Reachability Analysis ◦ Symbolic CTL Checking ◦ Bounded LTL-Model Checking ◦ Optimizations, e.g., induction, abstraction • Quality assurance
Literatur	Edmund M. Clarke, Jr., Orna Grumberg, and Doron A. Peled. 1999. <i>Model Checking</i>. MIT Press, Cambridge, MA, USA. A. Biere, A. Biere, M. Heule, H. van Maaren, and T. Walsh. 2009. <i>Handbook of Satisfiability: Volume 185 Frontiers in Artificial Intelligence and Applications</i>. IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands. Selected research papers

Lehrveranstaltung L1980: Modellprüfung - Beweiser und Algorithmen	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Görschwin Fey
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1773: Cybersecurity Data Science			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Data Science zur Cybersicherheit (L2914)	Vorlesung	2	3
Data Science zur Cybersicherheit (L2915)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Riccardo Scandariato		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	Basic knowledge of probabilities and statistics. Familiarity with object oriented programming.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Students can: • Apply data science methods to the resolution of complex cybersecurity problems. • Use of data science methods to quantify risks and optimize cybersecurity operations. • Identify strengths and limitations of state-of-the-art methods • Select the performance indicators of data-oriented cybersecurity solutions. • Understand cybersecurity threats in data science methods.		
<i>Fertigkeiten</i>	Implement and evaluate data-driven models for the identification, treatment, and mitigation of cybersecurity risks		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	None		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students can apply the knowledge acquired throughout the course to the resolution of industrial case studies. Students should also be capable to acquire new knowledge independently from academic publications, technical standards, and white papers.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	120 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2914: Cybersecurity Data Science	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Theoretical Foundations: • Introduction to data science • Supervised and unsupervised learning • Data science methods (e.g., clustering, decision trees, artificial neural networks) • Performance metrics Cybersecurity Applications: • Spam detection • Phishing detection • Intrusion detection • Access-control prediction • Denial of Service (DoS) prediction • Vulnerability/malware prediction • Adversarial machine learning
Literatur	[1] Sarker, I.H., Kayes, A.S.M., Badsha, S., Alqahtani, H., Watters, P. and Ng, A., 2020. Cybersecurity data science: an overview from machine learning perspective. Journal of Big data, 7(1), pp.1-29. [2] Truong, T.C., Zelinka, I., Plucar, J., Čandík, M. and Šulc, V., 2020. Artificial intelligence and cybersecurity: Past, presence, and future. In Artificial intelligence and evolutionary computations in engineering systems (pp. 351-363). Springer, Singapore. [3] Dua, S. and Du, X., 2016. Data mining and machine learning in cybersecurity. CRC press. [4] Arp, D., Quiring, E., Pendlebury, F., Warnecke, A., Pierazzi, F., Wressnegger, C., Cavallaro, L. and Rieck, K., Dos and Don'ts of Machine Learning in Computer Security. [5] Torres, J.M., Comesaña, C.I. and Garcia-Nieto, P.J., 2019. Machine learning techniques applied to cybersecurity. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 10(10), pp.2823-2836. [6] Russell, S. and Norvig, P., 2010. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall.

Lehrveranstaltung L2915: Exercise Cybersecurity Data Science	
Typ	Projekt-/problemorientierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Theoretical Foundations: • Introduction to data science • Supervised and unsupervised learning • Data science methods (e.g., clustering, decision trees, artificial neural networks) • Performance metrics Cybersecurity Applications: • Spam detection • Phishing detection • Intrusion detection • Access-control prediction • Denial of Service (DoS) prediction • Vulnerability/malware prediction • Adversarial machine learning
Literatur	[1] Sarker, I.H., Kayes, A.S.M., Badsha, S., Alqahtani, H., Watters, P. and Ng, A., 2020. Cybersecurity data science: an overview from machine learning perspective. Journal of Big data, 7(1), pp.1-29. [2] Truong, T.C., Zelinka, I., Plucar, J., Čandík, M. and Šulc, V., 2020. Artificial intelligence and cybersecurity: Past, presence, and future. In Artificial intelligence and evolutionary computations in engineering systems (pp. 351-363). Springer, Singapore. [3] Dua, S. and Du, X., 2016. Data mining and machine learning in cybersecurity. CRC press. [4] Arp, D., Quiring, E., Pendlebury, F., Warnecke, A., Pierazzi, F., Wressnegger, C., Cavallaro, L. and Rieck, K., Dos and Don'ts of Machine Learning in Computer Security. [5] Torres, J.M., Comesaña, C.I. and Garcia-Nieto, P.J., 2019. Machine learning techniques applied to cybersecurity. International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 10(10), pp.2823-2836. [6] Russell, S. and Norvig, P., 2010. Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall.

Modul M1400: Entwurf von Dependable Systems							
Lehrveranstaltungen							
Titel		Typ	SWS	LP			
Entwurf von Dependable Systems (L2000)		Vorlesung	2	3			
Entwurf von Dependable Systems (L2001)		Gruppenübung	2	3			
Modulverantwortlicher		Prof. Görschwin Fey					
Zulassungsvoraussetzungen		Keine					
Empfohlene Vorkenntnisse		Grundlegende Kenntnisse zu Datenstrukturen und Algorithmen					
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse		Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht					
Fachkompetenz		<i>Wissen</i> Im Folgenden wird "Dependable" als Zusammenfassung von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Wartbarkeit, Sicherheit (Safety & Security) verwendet. Kenntnis von Ansätzen zum Entwurf von Dependable Systems, z.B. • Strukturelle Lösungen wie z.B. Modular Redundancy • Algorithmische Lösungen wie z.B. Behandlung Byzantinischer Fehler, Checkpointing, etc. Kenntnis von Methoden zur Analyse der Dependability von Systemen <i>Fertigkeiten</i> Fähigkeit zum Entwurf von Dependable Systems durch Implementierung der obigen Ansätze. Fähigkeit zur Analyse der Dependability von Systemen durch Anwendung der obigen Analysemethoden. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> Studierende können • die jeweiligen Konzepte diskutieren und erläutern sowie • die Lösungen mündlich darstellen. <i>Selbstständigkeit</i> Studierende erlernen mittels Zusatzmaterial selbständig vertiefende Zusammenhänge der Konzepte aus der Vorlesung und erweiterte Lösungsverfahren.					
Arbeitsaufwand in Stunden					Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte					6		
Studienleistung					Verpflichtend Bonus Ja Keiner	Art der Studienleistung Fachtheoretisch- fachpraktische Studienleistung	Beschreibung Die Lösung einer Aufgabe ist Zulassungsvoraussetzung für die Prüfung. Die Aufgabe wird in Vorlesung und Übung definiert.
Prüfung					Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang		30 min					
Zuordnung zu folgenden Curricula		Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Systementwurf: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Embedded Systems: Wahlpflicht					

Lehrveranstaltung L2000: Entwurf von Dependable Systems	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Görschwin Fey
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Beschreibung Der Begriff „Dependability“ umfasst verschiedene Aspekte eines Systems. Dies sind typischer Weise: • Zuverlässigkeit • Verfügbarkeit • Wartbarkeit • Sicherheit - Safety & Security Damit ist Dependability ein zentraler Aspekt, der früh im Systementwurf betrachtet werden muss. Dies gilt für Software, Eingebettete Systeme wie auch umfassende Cyber-Physical Systems. Inhalt Das Modul führt grundlegende Konzept zum Entwurf und zur Analyse von Dependable Systems ein. Entwurfsbeispiele dienen dazu, eigene praktische Erfahrung zu sammeln. Ein Schwerpunkt des Moduls liegt im Bereich eingebetteter Systeme. Folgende Gebiete werden betrachtet: • Modellierung • Fehlertoleranz • Entwurfskonzepte • Analyse von Systemen
Literatur	

Lehrveranstaltung L2001: Entwurf von Dependable Systems	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Görschwin Fey
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1564: Hauptseminare Informatik und Kommunikationstechnik			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Hauptseminar Informatik und Kommunikationstechnik I (L2352)		Seminar	2 3
Hauptseminar Informatik und Kommunikationstechnik II (L2429)		Seminar	2 3
Modulverantwortlicher	Dozenten des SD E		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Grundlegende Module aus der Informatik und Mathematik auf Masterebene.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Die Studierenden können • ein spezifisches Thema der Informatik erklären, • komplexe Sachverhalte beschreiben, • unterschiedliche Standpunkte darlegen und kritisch bewerten.		
<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden können • sich in einer begrenzten Zeit in ein spezifisches Thema der Informatik einarbeiten, • eine Literaturrecherche durchführen und die Quellen richtig zitieren und angeben, • selbstständig einen Vortrag ausarbeiten und vor ausgewählten Publikum halten, • den Vortrag in einem Abstract zusammenfassen, • im Rahmen der Diskussion Fachfragen beantworten.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	Die Studierenden sind in der Lage, • ein Thema für eine bestimmte Zielgruppe aufzuarbeiten und darzustellen, • mit der Betreuerin bzw. dem Betreuer das Thema sowie Inhalt und Aufbau des Vortrages zu diskutieren, • einzelne Aspekte aus dem Themengebiet mit den Zuhörerinnen und Zuhörern durchzusprechen, • als Vortragende bzw. Vortragender auf die Fragen der Zuhörerinnen und Zuhörer einzugehen.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden werden die Lage versetzt, • eigenständig Aufgaben zu definieren, • notwendiges Wissen zu erschließen, • geeignete Hilfsmittel einzusetzen, • unter Anleitung der Betreuerin bzw. des Betreuers den Arbeitsstand kritisch zu überprüfen.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Referat		
Prüfungsdauer und -umfang	x		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung IV. Fachspezifische Fokussierung: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2352: Advanced Seminar Computer Science and Communication Technology I	
Typ	Seminar
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dozenten des SD E
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe/SoSe
Inhalt	- Seminar presentations by enrolled students about selected topics of computer science and communication technology - Active participation in discussions
Literatur	Wird vom Veranstalter bekanntgegeben.

Lehrveranstaltung L2429: Hauptseminar Informatik und Kommunikationstechnik II	
Typ	Seminar
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dozenten des SD E
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe/SoSe
Inhalt	
Literatur	

Fachmodule des Schwerpunktes Netze

Modul M0836: Communication Networks

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Ausgewählte Themen der Kommunikationsnetze (L0899)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	2
Kommunikationsnetze (L0897)	Vorlesung	2	2
Übung Kommunikationsnetze (L0898)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	1	2

Modulverantwortlicher	Prof. Andreas Timm-Giel
Zulassungsvoraussetzungen	None
Empfohlene Vorkenntnisse	- Fundamental stochastics - Basic understanding of computer networks and/or communication technologies is beneficial
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht
Fachkompetenz <i>Wissen</i> <i>Fertigkeiten</i> Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>	Students are able to describe the principles and structures of communication networks in detail. They can explain the formal description methods of communication networks and their protocols. They are able to explain how current and complex communication networks work and describe the current research in these examples. Students are able to evaluate the performance of communication networks using the learned methods. They are able to work out problems themselves and apply the learned methods. They can apply what they have learned autonomously on further and new communication networks. Students are able to define tasks themselves in small teams and solve these problems together using the learned methods. They can present the obtained results. They are able to discuss and critically analyse the solutions. Students are able to obtain the necessary expert knowledge for understanding the functionality and performance capabilities of new communication networks independently.
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70
Leistungspunkte	6
Studienleistung	Keine
Prüfung	Referat
Prüfungsdauer und -umfang	1,5 Stunden Kolloquium mit je drei Prüflingen, also ca. 30 min je Prüfling. Inhalt des Kolloquiums sind die Poster der vorhergehenden Postersession sowie die Lehrinhalte.
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Regelungs- und Energiesystemtechnik: Wahlpflicht Flugzeug-Systemtechnik: Kernqualifikation: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht Mechatronics: Technischer Ergänzungskurs: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht

Lehrveranstaltung L0899: Selected Topics of Communication Networks

Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Example networks selected by the students will be researched on in a PBL course by the students in groups and will be presented in a poster session at the end of the term.
Literatur	see lecture

Lehrveranstaltung L0897: Communication Networks	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel, Dr. Koojana Kuladinithi
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	
Literatur	• Skript des Instituts für Kommunikationsnetze • Tannenbaum, Computernetzwerke, Pearson-Studium Further literature is announced at the beginning of the lecture.

Lehrveranstaltung L0898: Communication Networks Exercise	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Part of the content of the lecture Communication Networks are reflected in computing tasks in groups, others are motivated and addressed in the form of a PBL exercise.
Literatur	• announced during lecture

Modul M0676: Digitale Nachrichtenübertragung			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Digitale Nachrichtenübertragung (L0444)	Vorlesung	2	3
Digitale Nachrichtenübertragung (L0445)	Hörsaalübung	2	2
Praktikum Digitale Nachrichtenübertragung (L0646)	Laborpraktikum	1	1
Modulverantwortlicher	Prof. Gerhard Bauch		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Mathematik 1-3 - Signale und Systeme - Einführung in die Nachrichtentechnik und ihre stochastischen Methoden		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Die Studierenden sind in der Lage, moderne digitale Nachrichtenübertragungsverfahren zu verstehen, zu vergleichen und zu entwerfen. Sie sind vertraut mit den Eigenschaften linearer und nicht-linearer digitaler Modulationsverfahren. Sie können die Verzerrungen durch Übertragungskkanäle beschreiben sowie Empfänger einschließlich Kanalschätzung und Entzerrung entwerfen und beurteilen. Sie kennen die Prinzipien der Single Carrier- und Multicarrier-Übertragung und die Grundlagen wichtiger Vielfachzugriffsverfahren. Die Studierenden kennen die Vorlesungs- und Übungsinhalte und können diese erläutern sowie auf neue Fragestellungen anwenden.		
<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden sind in der Lage, ein digitales Nachrichtenübertragungsverfahren einschließlich Vielfachzugriff zu analysieren und zu entwerfen. Sie sind in der Lage, ein hinsichtlich Übertragungsrate, Bandbreitebedarf, Fehlerwahrscheinlichkeit und weiterer Signaleigenschaften geeignetes digitales Modulationsverfahren zu wählen. Sie können einen geeigneten Detektor einschließlich Kanalschätzung und Entzerrung entwerfen und dabei Eigenschaften suboptimaler Verfahren hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Aufwand berücksichtigen. Sie sind in der Lage, ein Single-Carrierverfahren oder ein Multicarrier-Verfahren zu dimensionieren und die Eigenschaften beider Ansätze gegeneinander abzuwägen.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	Die Studierenden können in fachspezifische Aufgaben gemeinsam bearbeiten.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden sind in der Lage, die notwendigen Informationen aus geeigneten Literaturquellen selbstständig zu beschaffen und in den Kontext der Vorlesung zu setzen. Sie können ihren Wissensstand mit Hilfe vorlesungsbegleitender Maßnahmen (klausurnahe Aufgaben, Software-Tools, Clicker-System) kontinuierlich überprüfen und auf dieser Basis ihre Lernprozesse steuern.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung
	Ja Keiner	Schriftliche Ausarbeitung	
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Kernqualifikation: Pflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Pflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Elektrotechnik: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Kernqualifikation: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0444: Digital Communications	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- Repetition: Baseband Transmission - Pulse shaping: Non-return to zero (NRZ) rectangular pulses, raised-cosine pulses, square-root raised-cosine pulses - Power spectral density (psd) of baseband signals - Intersymbol interference (ISI) - First and second Nyquist criterion - AWGN channel - Matched filter - Matched-filter receiver and correlation receiver - Noise whitening matched filter - Discrete-time AWGN channel model - Representation of bandpass signals and systems in the equivalent baseband

- Quadrature amplitude modulation (QAM)
- Equivalent baseband signal and system
- Analytical signal
- Equivalent baseband random process, equivalent baseband white Gaussian noise process
- Equivalent baseband AWGN channel
- Equivalent baseband channel model with frequency-offset and phase noise
- Equivalent baseband Rayleigh fading and Rice fading channel models
- Equivalent baseband frequency-selective channel model
- Discrete memoryless channels (DMC)
- Bandpass transmission via carrier modulation
 - Amplitude modulation, frequency modulation, phase modulation
 - Linear digital modulation methods
 - On-off keying, M-ary amplitude shift keying (M-ASK), M-ary phase shift keying (M-PSK), M-ary quadrature amplitude modulation (M-QAM), offset-QPSK
 - Signal space representation of transmit signal constellations and signals
 - Energy of linear digital modulated signals, average energy per symbol
 - Power spectral density of linear digital modulated signals
 - Bandwidth efficiency
 - Correlation coefficient of elementary signals
 - Error probabilities of linear digital modulation methods
 - Error functions
 - Gray mapping and natural mapping
 - Bit error probabilities, symbol error probabilities, pairwise symbol error probabilities
 - Euclidean distance and Hamming distance
 - Exact and approximate computation of error probabilities
 - Performance comparison of modulation schemes in terms of per bit SNR vs. per symbol SNR
 - Hierarchical modulation, multilevel modulation
 - Effects of carrier phase offset and carrier frequency offset
 - Differential modulation
 - M-ary differential phase shift keying (M-PSK)
 - Coherent and non-coherent detection of DPSK
 - p/M-differential phase shift keying (p/M-DPSK)
 - Differential amplitude and phase shift keying (DAPSK)
 - Non-linear digital modulation methods
 - Frequency shift keying (FSK)
 - Modulation index
 - Minimum shift keying (MSK)
 - Offset-QPSK representation of MSK
 - MSK with differential precoding and rotation
 - Bit error probabilities of MSK
 - Gaussian minimum shift keying (GMSK)
 - Power spectral density of MSK and GMSK
 - Continuous phase modulation (CPM)
 - General description of CPM signals
 - Frequency pulses and phase pulses
 - Coherent and non-coherent detection of FSK
 - Performance comparison of linear and non-linear digital modulation methods
- Frequency-selective channels, ISI channels
 - Intersymbol interference and frequency-selectivity
 - RMS delay spread
 - Narrowband and broadband channels
 - Equivalent baseband transmission model for frequency-selective channels
 - Receive filter design
- Equalization
 - Symbol-spaced and fractionally-spaced equalizers
 - Inverse system
 - Non-recursive linear equalizers
 - Linear zero-forcing (ZF) equalizer
 - Linear minimum mean squared error (MMSE) equalizer
 - Non-linear equalization:
 - Decision feedback equalizer (DFE)
 - Tomlinson-Harashima precoding
 - Maximum a posteriori probability (MAP) and maximum likelihood equalizer, Viterbi algorithm
- Single-carrier vs. multi-carrier transmission
- Multi-carrier transmission
 - General multicarrier transmission
 - Orthogonal frequency division multiplex (OFDM)
 - OFDM implementation using the Fast Fourier Transform (FFT)
 - Cyclic guard interval
 - Power spectral density of OFDM
 - Peak-to-average power ratio (PAPR)
- Multiple access
 - Principles of time division multiple access (TDMA), frequency division multiple access (FDMA), code division multiple access (CDMA), non-orthogonal multiple access (NOMA), hybrid multiple access
- Spread spectrum communications

	◦ Direct sequence spread spectrum communications ◦ Frequency hopping ◦ Protection against eavesdropping ◦ Protection against narrowband jammers ◦ Short vs. long spreading codes ◦ Direct sequence spread spectrum communications in frequency-selective channels ▪ Rake receiver ◦ Code division multiple access (CDMA) ▪ Design criteria of spreading sequences, autocorrelation function and crosscorrelation function of spreading sequences ▪ Intersymbol interference (ISI) and multiple access interference (MAI) ▪ Pseudo noise (PN) sequences, maximum length sequences (m-sequences), Gold codes, Walsh-Hadamard codes, orthogonal variable spreading factor (OVSF) codes ▪ Multicode transmission ▪ CDMA in uplink and downlink of a wireless communications system ▪ Single-user detection vs. multi-user detection
Literatur	K. Kammeyer: Nachrichtenübertragung, Teubner P.A. Höher: Grundlagen der digitalen Informationsübertragung, Teubner. J.G. Proakis, M. Salehi: Digital Communications. McGraw-Hill. S. Haykin: Communication Systems. Wiley R.G. Gallager: Principles of Digital Communication. Cambridge A. Goldsmith: Wireless Communication. Cambridge. D. Tse, P. Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge.

Lehrveranstaltung L0445: Digital Communications	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Lehrveranstaltung L0646: Praktikum Digitale Nachrichtenübertragung	
Typ	Laborpraktikum
SWS	1
LP	1
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 16, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	- DSL-Übertragung - Stochastische Prozesse - Digitale Datenübertragung
Literatur	K. Kammeyer: Nachrichtenübertragung, Teubner P.A. Höher: Grundlagen der digitalen Informationsübertragung, Teubner. J.G. Proakis, M. Salehi: Digital Communications. McGraw-Hill. S. Haykin: Communication Systems. Wiley R.G. Gallager: Principles of Digital Communication. Cambridge A. Goldsmith: Wireless Communication. Cambridge. D. Tse, P. Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge.

Modul M0837: Simulation of Communication Networks			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Simulation von Kommunikationsnetzen (L0887)	Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
		SWS	5
		LP	6
Modulverantwortlicher	Prof. Andreas Timm-Giel		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Knowledge of computer and communication networks - Basic programming skills		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Students are able to explain the necessary stochastics, the discrete event simulation technology and modelling of networks for performance evaluation.		
<i>Fertigkeiten</i>	Students are able to apply the method of simulation for performance evaluation to different, also not practiced, problems of communication networks. The students can analyse the obtained results and explain the effects observed in the network. They are able to question their own results.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	Students are able to acquire expert knowledge in groups, present the results, and discuss solution approaches and results. They are able to work out solutions for new problems in small teams.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students are able to transfer independently and in discussion with others the acquired method and expert knowledge to new problems. They can identify missing knowledge and acquire this knowledge independently.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	30 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Flugzeug-Systemtechnik: Kernqualifikation: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Simulationstechnik: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Simulationstechnik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0887: Simulation of Communication Networks	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	5
LP	6
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	In the course necessary basic stochastics and the discrete event simulation are introduced. Also simulation models for communication networks, for example, traffic models, mobility models and radio channel models are presented in the lecture. Students work with a simulation tool, where they can directly try out the acquired skills, algorithms and models. At the end of the course increasingly complex networks and protocols are considered and their performance is determined by simulation.
Literatur	Skript des Instituts für Kommunikationsnetze Further literature is announced at the beginning of the lecture.

Modul M1774: Advanced Internet Computing

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Advanced Internet Computing (L2916)	Vorlesung	2	3
Advanced Internet Computing (L2917)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Stefan Schulte		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	Good programming skills are necessary. Previous knowledge in the field of distributed systems is helpful.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	After successful completion of the course, students are able to: - Describe basic concepts of Cloud Computing, the Internet of Things (IoT), and blockchain technologies - Discuss and assess critical aspects of Cloud Computing, the IoT, and blockchain technologies - Select and apply cloud and IoT technologies for particular application areas - Design and develop practical solutions for the integration of smart objects in IoT, Cloud, and blockchain software - Implement IoT services		
<i>Fertigkeiten</i>	The students acquire the ability to model Internet-based distributed systems and to work with these systems. This comprises especially the ability to select and utilize fitting technologies for different application areas. Furthermore, students are able to critically assess the chosen technologies.		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	Students can work on complex problems both independently and in teams. They can exchange ideas with each other and use their individual strengths to solve the problem.		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students are able to independently investigate a complex problem and assess which competencies are required to solve it.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Fachtheoretisch-fachpraktische Arbeit		
Prüfungsdauer und -umfang	Guppenprojekt mit Präsentation (50 %), schriftlicher Test (60 min, 50 %)		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2916: Advanced Internet Computing

Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Stefan Schulte
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	This lecture discusses modern Internet-based distributed systems in three blocks: (i) Cloud computing, (ii) the Internet of Things, and (iii) blockchain technologies. The following topics will be covered in the single lectures: - Cloud Computing - Elastic Computing - Technologies for identification for the IoT: RFID & EPC - Communication in the IoT: Standards and protocols - Security and trust in the IoT: Concerns and solution approaches - Edge and Fog Computing - Application areas: Smart factories, smart cities, smart healthcare - Blockchain technologies - Consensus
Literatur	Will be discussed in the lecture

Lehrveranstaltung L2917: Advanced Internet Computing	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Stefan Schulte
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	This project-/problemoriented part of the module augments the theoretical content of the lecture by a concrete technical problem, which needs to be solved by the students in group work during the semester. Possible topics are (blockchain-based) sensor data integration, Big Data processing, Cloud-based redundant data storages, and Cloud-based Onion Routing.
Literatur	Will be discussed in the lecture.

Modul M0839: Traffic Engineering			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Seminar Traffic Engineering (L0902)	Seminar	2	2
Traffic Engineering (L0900)	Vorlesung	2	2
Traffic Engineering Übung (L0901)	Gruppenübung	1	2
Modulverantwortlicher	Prof. Andreas Timm-Giel		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	- Fundamentals of communication or computer networks - Stochastics		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Students are able to describe methods for planning, optimisation and performance evaluation of communication networks.		
<i>Fertigkeiten</i>	Students are able to solve typical planning and optimisation tasks for communication networks. Furthermore they are able to evaluate the network performance using queuing theory. Students are able to apply independently what they have learned to other and new problems. They can present their results in front of experts and discuss them.		
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>			
<i>Selbstständigkeit</i>	Students are able to acquire the necessary expert knowledge to understand the functionality and performance of new communication networks independently.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	30 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Netze: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0902: Seminar Traffic Engineering	
Typ	Seminar
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel, Dr. Phuong Nga Tran
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Selected applications of methods for planning, optimization, and performance evaluation of communication networks, which have been introduced in the traffic engineering lecture are prepared by the students and presented in a seminar.
Literatur	U. Killat, Entwurf und Analyse von Kommunikationsnetzen, Vieweg + Teubner - further literature announced in the lecture

Lehrveranstaltung L0900: Traffic Engineering	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel, Dr. Phuong Nga Tran
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Network Planning and Optimization • Linear Programming (LP) • Network planning with LP solvers • Planning of communication networks Queueing Theory for Communication Networks • Stochastic processes • Queueing systems • Switches (circuit- and packet switching) • Network of queues
Literatur	Literatur: U. Killat, Entwurf und Analyse von Kommunikationsnetzen, Springer Weitere Literatur wird in der Lehrveranstaltung bekanntgegeben / Literature: U. Killat, Entwurf und Analyse von Kommunikationsnetzen, Springer further literature announced in the lecture

Lehrveranstaltung L0901: Traffic Engineering Exercises	
Typ	Gruppenübung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Andreas Timm-Giel
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Accompanying exercise for the traffic engineering course
Literatur	Literatur: U. Killat, Entwurf und Analyse von Kommunikationsnetzen, Springer Weitere Literatur wird in der Lehrveranstaltung bekanntgegeben / Literature: U. Killat, Entwurf und Analyse von Kommunikationsnetzen, Springer further literature announced in the lecture

Fachmodule des Schwerpunktes Software und Signalverarbeitung

Modul M0738: Digital Audio Signal Processing

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Digitale Audiosignalverarbeitung (L0650)	Vorlesung	3	4
Digitale Audiosignalverarbeitung (L0651)	Hörsaalübung	1	2

Modulverantwortlicher	Prof. Udo Zölzer
------------------------------	------------------

Zulassungsvoraussetzungen	None
----------------------------------	------

Empfohlene Vorkenntnisse	Signals and Systems
---------------------------------	---------------------

Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht
---	---

Fachkompetenz	
<i>Wissen</i>	Die Studierenden können die grundlegenden Verfahren und Methoden der digitalen Audiosignalverarbeitung erklären. Sie können die wesentlichen physikalischen Effekte bei der Sprach- und Audiosignalverarbeitung erläutern und in Kategorien einordnen. Sie können einen Überblick der numerischen Methoden und messtechnischen Charakterisierung von Algorithmen zur Audiosignalverarbeitung geben. Sie können die erarbeiteten Algorithmen auf weitere Anwendungen im Bereich der Informationstechnik und Informatik abstrahieren.
<i>Fertigkeiten</i>	The students will be able to apply methods and techniques from audio signal processing in the fields of mobile and internet communication. They can rely on elementary algorithms of audio signal processing in form of Matlab code and interactive JAVA applets. They can study parameter modifications and evaluate the influence on human perception and technical applications in a variety of applications beyond audio signal processing. Students can perform measurements in time and frequency domain in order to give objective and subjective quality measures with respect to the methods and applications.
Personale Kompetenzen	
<i>Sozialkompetenz</i>	The students can work in small groups to study special tasks and problems and will be enforced to present their results with adequate methods during the exercise.
<i>Selbstständigkeit</i>	The students will be able to retrieve information out of the relevant literature in the field and put it into the context of the lecture. They can relate their gathered knowledge and relate them to other lectures (signals and systems, digital communication systems, image and video processing, and pattern recognition). They will be prepared to understand and communicate problems and effects in the field audio signal processing.

Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56
----------------------------------	-------------------------------------

Leistungspunkte	6
------------------------	---

Studienleistung	Keine
------------------------	-------

Prüfung	Klausur
----------------	---------

Prüfungsdauer und -umfang	60 min
----------------------------------	--------

Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht
---	--

Lehrveranstaltung L0650: Digital Audio Signal Processing	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Udo Zölzer
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	• Introduction (Studio Technology, Digital Transmission Systems, Storage Media, Audio Components at Home) • Quantization (Signal Quantization, Dither, Noise Shaping, Number Representation) • AD/DA Conversion (Methods, AD Converters, DA Converters, Audio Processing Systems, Digital Signal Processors, Digital Audio Interfaces, Single-Processor Systems, Multiprocessor Systems) • Equalizers (Recursive Audio Filters, Nonrecursive Audio Filters, Multi-Complementary Filter Bank) • Room Simulation (Early Reflections, Subsequent Reverberation, Approximation of Room Impulse Responses) • Dynamic Range Control (Static Curve, Dynamic Behavior, Implementation, Realization Aspects) • Sampling Rate Conversion (Synchronous Conversion, Asynchronous Conversion, Interpolation Methods) • Data Compression (Lossless Data Compression, Lossy Data Compression, Psychoacoustics, ISO-MPEG1 Audio Coding)
Literatur	- U. Zölzer, Digitale Audiosignalverarbeitung, 3. Aufl., B.G. Teubner, 2005 . - U. Zölzer, Digitale Audio Signal Processing, 2nd Edition, J. Wiley & Sons, 2005. - U. Zölzer (Ed), Digital Audio Effects, 2nd Edition, J. Wiley & Sons, 2011.

Lehrveranstaltung L0651: Digital Audio Signal Processing	
Typ	Hörsaalübung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Udo Zölzer
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0733: Software Analysis				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Softwareanalyse (L0631)		Vorlesung	2	3
Softwareanalyse (L0632)		Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher		Prof. Sibylle Schupp		
Zulassungsvoraussetzungen		None		
Empfohlene Vorkenntnisse		• Basic knowledge of software-engineering activities • Discrete algebraic structures • Object-oriented programming, algorithms, and data structures • Functional programming or Procedural programming		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse		Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz		Students apply the major approaches to data-flow analysis, control-flow analysis, and type-based analysis, along with their classification schemes, and employ abstract interpretation. They explain the standard forms of internal representations and models, including their mathematical structure and properties, and evaluate their suitability for a particular analysis. They explain and categorize the major analysis algorithms. They distinguish precise solutions from approximative approaches, and show termination and soundness properties. Presented with an analytical task for a software artifact, students select appropriate approaches from software analysis, and justify their choice. They design suitable representations by modifying standard representations. They develop customized analyses and devise them as safe overapproximations. They formulate analyses in a formal way and construct arguments for their correctness, behavior, and precision. Students discuss relevant topics in class. They defend their solutions orally. They communicate in English. Using accompanying on-line material for self study, students can assess their level of knowledge continuously and adjust it appropriately. Working on exercise problems, they receive additional feedback. Within limits, they can set their own learning goals. Upon successful completion, students can identify and precisely formulate new problems in academic or applied research in the field of software analysis. Within this field, they can conduct independent studies to acquire the necessary competencies and compile their findings in academic reports. They can devise plans to arrive at new solutions or assess existing ones.		
<i>Wissen</i>				
<i>Fertigkeiten</i>				
Personale Kompetenzen				
<i>Sozialkompetenz</i>				
<i>Selbstständigkeit</i>				
Arbeitsaufwand in Stunden		Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte		6		
Studienleistung		Keine		
Prüfung		Fachtheoretisch-fachpraktische Arbeit		
Prüfungsdauer und -umfang		siehe englisch		
Zuordnung zu folgenden Curricula		Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0631: Software Analysis	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	• Modeling: Control-Flow Modeling, Data Dependences, Intermediate Languages) • Classical Bit-Vector Analyses (Reaching Definition, Very Busy Expressions, Liveness, Available Expressions, May/Must, Forward/Backward) • Monotone Frameworks (Lattices, Transfer Functions, Ascending Chain Condition, Distributivity, Constant Propagation) • Theory of Data-Flow Analysis (Tarski's Fixed Point Theorem, Data-Flow Equations, MFP Solution, MOP Solution, Worklist Algorithm) • Non-Classical Data-Flow Analyses • Abstract Interpretation (Galois Connections, Approximating Fixed Points, Construction Techniques) • Type Systems (Type Derivation, Inference Trees, Algorithm W, Unification) • Recent Developments of Analysis Techniques and Applications
Literatur	• Flemming Nielsen, Hanne Nielsen, and Chris Hankin. Principles of Program Analysis. Springer, 2nd. ed. 2005. • Uday Khedker, Amitabha Sanyal, and Bageshri Karkara. Data Flow Analysis: Theory and Practice. CRC Press, 2009. • Benjamin Pierce, Types and Programming Languages, MIT Press. • Selected research papers

Lehrveranstaltung L0632: Software Analysis	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0556: Computer Graphics				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Computer-Grafik (L0145)		Vorlesung	2	3
Computer-Grafik (L0768)		Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Tobias Knopp			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	• Linear Algebra (in particular matrix/vector computation) • Basic programming skills in C/C++			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz				
<i>Wissen</i>	Students can explain and describe basic algorithms in 3D computer graphics.			
<i>Fertigkeiten</i>	Students are capable of • implementing a basic 3D rendering pipeline. This consists of projecting simple 3D structures (e.g. cube, spheres) onto a 2D surface using a virtual camera. • apply geometric transformations (e.g. rotation, scaling) in 2D and 3D computer graphics. • using well-known 2D/3D APIs (OpenGL, Cairo) for solving a given problem statement.			
Personale Kompetenzen				
<i>Sozialkompetenz</i>	Students can collaborate in a small team on the realization and validation of a 3D computer graphics pipeline.			
<i>Selbstständigkeit</i>	• Students are able to solve simple tasks independently with reference to the contents of the lectures and the exercise sets. • Students are able to solve detailed problems independently with the aid of the tutorial's programming task.			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Keine			
Prüfung	Klausur			
Prüfungsdauer und -umfang	90 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L0145: Computer Graphics	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Computer graphics and animation are leading to an unprecedented visual revolution. The course deals with its technological foundations: • Object-oriented Computer Graphics • Projections and Transformations • Polygonal and Parametric Modelling • Illuminating, Shading, Rendering • Computer Animation Techniques • Kinematics and Dynamics Effects Students will be working on a series of mini-projects which will eventually evolve into a final project. Learning computer graphics and animation resembles learning a musical instrument. Therefore, doing your projects well and in time is essential for performing well on this course.
Literatur	Alan H. Watt: 3D Computer Graphics. Harlow: Pearson (3rd ed., repr., 2009). Dariush Derakhshani: Introducing Autodesk Maya 2014. New York, NY : Wiley (2013).

Lehrveranstaltung L0768: Computer Graphics	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1682: Secure Software Engineering

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Entwicklung von sicherer Software (L2667)	Vorlesung	2	3
Entwicklung von sicherer Software (L2668)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Riccardo Scandariato		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	Familiarity with basic software engineering concepts (e.g., requirements, design) and basic security concepts (e.g., confidentiality, integrity, availability)		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	Students can: - Elicit security requirements in a software project - Model and document security measures in a software design - Use threat and risk analysis techniques - Understand how security code reviews are performed - Understand the core definitions of concepts related to privacy - Understand privacy enhancing technologies		
Personale Kompetenzen <i>Fertigkeiten</i>	Select appropriate security assurance techniques to be used in a security assurance program		
<i>Sozialkompetenz</i>	None		
<i>Selbstständigkeit</i>	Students can apply the knowledge acquired throughout the course to the resolution of industrial case studies. Students should also be capable to acquire new knowledge independently from academic publications, technical standards, and white papers.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang	120 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2667: Secure Software Engineering

Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	- Secure software development processes and maturity models - Techniques to define security requirements - Techniques to create, document and analyse the design of secure applications - Threat and risk analysis techniques - Security code reviews - Program repair techniques for security vulnerabilities - Privacy engineering
Literatur	Sindre, G. and Opdahl, A.L., 2005. Eliciting security requirements with misuse cases. Requirements engineering, 10(1), pp.34-44. Fontaine, P.J., Van Lamsweerde, A., Letier, E. and Darimont, R., 2001. Goal-oriented elaboration of security requirements. Mead, N.R. and Stehney, T., 2005. Security quality requirements engineering (SQUARE) methodology. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 30(4), pp.1-7. Mirakhorli, M., Shin, Y., Cleland-Huang, J. and Cinar, M., 2012, June. A tactic-centric approach for automating traceability of quality concerns. In 2012 34th international conference on software engineering (ICSE) (pp. 639-649). IEEE. Jürjens, J., UMLsec: Extending UML for secure systems development, International Conference on The Unified Modeling Language, 2002 Lund, M.S., Solhaug, B. and Stølen, K., 2011. A guided tour of the CORAS method. In Model-Driven Risk Analysis (pp. 23-43). Springer, Berlin, Heidelberg. Howard, M.A., 2006. A process for performing security code reviews. IEEE Security & privacy, 4(4), pp.74-79 Diaz, C. and Gürses, S., 2012. Understanding the landscape of privacy technologies. Proceedings of the information security summit, 12, pp.58-63.

Lehrveranstaltung L2668: Secure Software Engineering	
Typ	Projekt-/problem-basierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Riccardo Scandariato
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Secure software development processes and maturity models • Techniques to define security requirements • Techniques to create, document and analyse the design of secure applications • Threat and risk analysis techniques • Security code reviews • Program repair techniques for security vulnerabilities • Privacy engineering
Literatur	

Modul M1700: Satellite Communications and Navigation			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS
Funkbasierte Positionierung und Navigation (L2711)		Vorlesung	2
Satellitenkommunikation (L2710)		Vorlesung	3
Modulverantwortlicher	Prof. Gerhard Bauch		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	The module is designed for a diverse audience, i.e. students with different background. Basic knowledge of communications engineering and signal processing are of advantage but not required. The course intends to provide the chapters on communications techniques such that on the one hand students with a communications engineering background learn additional concepts and examples (e.g. modulation and coding schemes or signal processing concepts) which have not or in a different way been treated in our other bachelor and master courses. On the other hand, students with other background shall be able to grasp the ideas but may not be able to understand in the same depth. The individual background of the students will be taken into consideration in the oral exam.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<i>Wissen</i> The students are able to understand, compare and analyse digital satellite communications system as well as navigation techniques. They are familiar with principal ideas of the respective communications, signal processing and positioning methods. They can describe distortions and resulting limitations caused by transmission channels and hardware components. They can describe how fundamental communications and navigation techniques are applied in selected practical systems. The students are familiar with the contents of lecture and tutorials. They can explain and apply them to new problems. <i>Fertigkeiten</i> The students are able to describe and analyse digital satellite communications systems and navigation systems. They are able to analyse transmission chains including link budget calculations. They are able to choose appropriate transmission technologies and system parameters for given scenarios. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> The students can jointly solve specific problems. <i>Selbstständigkeit</i> The students are able to acquire relevant information from appropriate literature sources.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	30 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2711: Radio-Based Positioning and Navigation	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch, Dr. Rico Mendrzik
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	- Information extraction from communication signals - Time-of-arrival principle - Ranging in additive white Gaussian noise (AWGN) channel - Correlation-based range estimation - Effect of multipath propagation on time-of-arrival principle - Zero-forcing range estimation in the presence of multipath - Optimum range estimation in the presence of multipath - Zero-forcing in presence of noise - Angle-of-arrival principle - Angle-of-arrival estimation in AWGN channel - Delay-and-sum estimator - Multiple Signal Classifier (MUSIC) - MUSIC-based angle-of-arrival estimation - Case study: Comparison of estimators in AWGN channels - Effect of multipath propagation on angle-of-arrival principle - Case study: Comparison of estimators in multipath channels

- Information fusion of extracted signals
 - Distance-based positioning
 - Principle of time-of-arrival positioning
 - Geometric interpretation
 - Positioning in the absence of noise
 - Linearization of the positioning problem
 - Positioning in the presence of noise
 - Optimality criteria
 - Least squares time-of-arrival positioning
 - Maximum likelihood time-of-arrival positioning
 - Interactive Matlab demo
 - Excursion: gradient descent solvers for nonlinear programs
 - Real-life positioning with embedded development board (Arduino)
 - Linearized least squares time-of-arrival positioning
 - Effect of clock offsets on distance-based positioning
 - Time-difference-of-arrival principle
 - Least squares time-difference-of-arrival positioning
 - Clock offset mitigation via two-way ranging
 - Performance limits of distance-based positioning
 - Fisher information and the Cramér-Rao lower bound
 - Fisher information in the AWGN case
 - Multi-variate Fisher information
 - Cramér-Rao lower bound for synchronized time-of-arrival positioning
 - Case study: Synchronized time-of-arrival positioning
 - Cramér-Rao lower bound for unsynchronized time-of-arrival positioning
 - Case study: Unsynchronized time-of-arrival positioning
 - Angle-based Positioning
 - Angle-of-arrival positioning principle
 - Geometric interpretation angle-of-arrival positioning principle
 - Noise-free angle-of-arrival positioning with known orientation
 - Effect of noise on angle-of-arrival positioning
 - Least squares angle-of-arrival positioning with known orientation
 - Linear least squares angle-of-arrival positioning
 - Effect of orientation uncertainty
 - Angle-difference-of-arrival positioning
 - Geometric interpretation angle difference of arrival positioning
 - Proof of angle-difference-of-arrival locus
 - Inscribed angle lemma
 - Case study: Angle-difference-of-arrival-positioning
 - Performance limits of angle-based positioning
 - Cramér-Rao lower bound for angle-of-arrival positioning with known orientation
 - Case study: Angle-of-arrival positioning with known orientation
- Information Filtering
 - Bayesian filtering
 - Principle of Bayesian filtering
 - General Problem Formulation
 - Solution to the linear Gaussian case
 - State transition in the linear Gaussian case
 - Proof of predicted posterior distribution of the Kalman filter
 - State update in the linear Gaussian case
 - Proof of marginal posterior distribution of the Kalman filter
 - Working with Gaussian random variables
 - Proof: Affine transformation
 - Proof: Marginalization
 - Proof: Conditioning
 - Kalman filter: Optimum Inference in the linear Gaussian case
 - Modeling of process noise
 - Modeling of measurement noise
 - Case study: Kalman filtering in the linear Gaussian case
 - Interactive Kalman filtering in Matlab
 - Dealing with nonlinearities in Bayesian filtering
 - Nonlinear Gaussian case
 - Extended Kalman filter
 - Proof of predicted posterior distribution of the extended Kalman filter
 - Proof of marginal posterior distribution of the extended Kalman filter
 - Example: Nonlinear state transition
 - Case study: Extended Kalman filtering
 - Practical considerations for filter design
- Satellite Navigation
 - Overview from positioning perspective
 - Earth-centered earth-fixed (ECEF) coordinate system
 - World geodetic system (WGS)
 - Satellite navigation systems
 - System-receiver clock offsets and pseudo-ranges

	■ Unsynchronized time-of-arrival positioning revisited ◦ GPS legacy signals and ranging ■ Signal overview ■ Time-of-arrival principle revisited ■ Direct sequence spread spectrum principle ■ Short and long codes ■ Satellite signal generation ■ Carriers and codes ■ Correlation properties of codes ■ Code division multiple access in flat fading channels ■ Navigation message ◦ Velocity estimation ◦ Hands-on case study: Design of an extended Kalman filter for satellite navigation based on recorded data • Robust navigation ◦ Multipath-assisted positioning in millimeter wave multiple antenna systems ◦ Multi-sensor fusion
Literatur	

Lehrveranstaltung L2710: Satellite Communications	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 48, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Gerhard Bauch
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Introduction to satellite communications ◦ What is a satellite ◦ Overview orbits, Van Allen Belt, components of a satellite ◦ Satellite services ◦ Frequency bands for satellite services ◦ International Telecommunications Union (ITU) ◦ Influence of atmospheric impairments ◦ Milestones in satellite communications • Components of a satellite communications system ◦ Ground segment ◦ Space segment ◦ Control segment • Communication links ◦ Uplink, downlink ◦ Forward link, reverse link ◦ Intersatellite links ◦ Multiple access ◦ Performance measures ■ Effective isotropic radiated power (EIRP), antenna gain, figure of merit, G/T, carrier to noise ratio ■ Signal to noise power ratio vs. carrier to noise ratio • Single beam and multibeam satellites ◦ Beam coverage ◦ Examples for beam coverage of LEO and GEO satellites (Iridium, Viasat) • Transparent vs. regenerative payload • Orbits ◦ Low earth orbit (LEO), medium earth orbit (MEO), geosynchronous and geostationary orbits (GEO), highly elliptical orbits (HEO) ◦ Favourable orbits: ■ HEO orbits with 63-64° inclination, Molnya and Tundra orbits ■ Circular LEO orbits ■ Circular MEO Orbits (Intermediate Circular Orbits (ICO)) ■ Equatorial orbits, geostationary orbit (GEO) ◦ Important aspects of LEO, MEO and GEO satellites • Kepler's laws of planetary motion • Gravitational force • Parameters of ellipses and elliptical orbits ◦ Major and minor half axis ◦ Foci ◦ Eccentricity ◦ Eccentric anomaly, mean anomaly, true anomaly ◦ Area ◦ Orbit period ◦ Perigee, apogee ◦ Distance of satellite from center of earth ◦ Construction of ellipses according to de La Hire ◦ Orbital plane in space, inclination, right ascension (longitude) of ascending node, Vernal equinox

- Newton's laws of motion
- Newton's universal law of gravitation
- Energy of satellites: Potential energy, kinetic energy, total energy
- Instantaneous speed of a satellite
- Kepler's equation
- Satellite visibility, elevation
- Required number of LEO, MEO or GEO satellites for continuous earth coverage
- Satellite altitude and distance from a point on earth
- Choice of orbits
 - LEO, HEO, GEO
 - Elliptical orbits with non-zero inclination, Molnya orbits, Tundra orbits
 - Geosynchronous orbits
 - Parameters of geosynchronous orbits
 - Circular geosynchronous orbits
 - Inclined geosynchronous orbits
 - Quasi-zenith satellite systems (QZSS)
 - Syb-synchronous circular equatorial orbits
 - Geostationary orbit
 - Parameters of the geostationary orbit
 - Visibility
 - Propagation delay
 - Applications and system examples
- Perturbations of orbits
 - Station keeping
 - Station keeping box
 - Estimation of orbit parameters
- Fundamentals of digital communications techniques
 - Components of a digital communications system
 - Principles of encryption
 - Scrambling
 - Scrambling vs. interleaving for randomization of data sequences
 - Interleaving: Block interleaver, convolutional interleaver, random interleaver
 - Digital modulation methods
 - Linear and non-linear digital modulation methods
 - Linear digital modulation methods
 - QAM modulator and demodulator
 - Pulse shaping, square-root raised-cosine pulses
 - Average power spectral density
 - Signal space constellation
 - Examples: M-ary phase shift keying (M-PSK), M-ary quadrature amplitude shift keying (M-QAM)
 - M-PSK in noisy channels
 - Bit error probabilities of M-PSK and M-QAM
 - M-PSK vs. M-QAM
 - M-ary amplitude and phase shift keying (M-APSK)
 - M-APSK vs. M-QAM
 - Differential phase shift keying (DPSK)

Error control coding (channel coding)

- Error detecting and forward error correcting (FEC) codes
- Principle of channel coding
- Data rate, code rate, Baud rate, spectral efficiency of modulation and coding schemes
- Bandwidth-power trade-off, bandwidth-limited vs. power-limited transmission
- Coding and modulation for transparent vs. regenerative payload
- Block codes and convolutional codes
- Concatenated codes
- Bit-interleaved coded modulation
- Convolutional codes
- Low density parity check (LDPC) codes, principle of message passing decoding, bit error rate performance
- Cyclic block codes
 - Examples for cyclic block codes
 - Single errors vs. block errors, cyclic block codes for burst errors
 - Generator matrix, generator polynomials
 - Systematic encoding and syndrome determination with shift registers
 - Cyclic redundancy check (CRC) codes
- Automatic repeat request (ARQ)
 - Principle of ARQ
 - Stop-and-wait ARQ
 - Go-back-N ARQ
 - Selective-repeat ARQ
- Transmission gains and losses

	◦ Antenna gain ■ Antenna radiation pattern ■ Maximum antenna gain, 3dB beamwidth ■ Maximum antenna gain of circular aperture ■ Maximum antenna gain of a geostationary satellite with global coverage ◦ Effective isotropic radiated power (EIRP) ◦ Power flux density ◦ Path loss ■ Free space loss, free space loss for geostationary satellites ■ Atmospheric loss ■ Received power ◦ Losses in transmit and receive equipment ■ Feeder loss ■ Depointing loss ■ Polarization mismatch loss ◦ Combined effect of losses • Noise ◦ Origins of noise ◦ White noise ◦ Noise power spectral density and noise power ◦ Additive white Gaussian noise (AWGN) channel model ◦ Antenna noise temperature ◦ Earth brightness temperature ◦ Signal to noise ratios • Atmospheric distortions ◦ Atmosphere of the earth: Troposphere, stratosphere, mesosphere, thermosphere, exosphere ◦ Attenuation and depolarization due to rain, fog, rain and ice clouds, sandstorms ◦ Scintillation ◦ Faraday effect ◦ Multipath contributions • Link budget calculations ◦ GEO clear sky uplink and downlink ◦ GEO uplink and downlink under rain conditions ◦ Transparent vs. regenerative payload • Link availability improvement through site diversity and adaptive transmission ◦ Transparent vs. regenerative payload ■ Non-linear amplifiers ■ Saleh model, Rapp model ■ Input and output back-off factor ■ Single carrier and multicarrier operation ■ Dimensioning of transmission parameters ■ Sources of noise: Thermal noise, interference, intermodulation products ■ Signal to noise ratio and bit error probability ■ Robustness against interference and non-linear channels • Satellite networks ◦ Satellite network reference architectures ◦ Network topologies ◦ Network connectivity ■ Types of network connectivity ■ On-board connectivity ■ Inter-satellite links ◦ Broadcast networks ◦ Satellite-based internet • Satellite communications systems and standards examples ◦ The role of standards in satellite communications ◦ The Digital Video Broadcast Satellite Standard: DVB-S, DVB-S2, DVB-S2X ◦ Satellites in 3GPP mobile communications networks ◦ LEO megaconstellations: SpaceX Starlink, Kuiper, OneWeb ◦ Space debris ◦ The German Heinrich Hertz mission
Literatur	

Modul M1301: Software Testing				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Softwaretesten (L1791)		Vorlesung	2	3
Softwaretesten (L1792)		Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Sibylle Schupp			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	• Software Engineering • Higher Programming Languages • Object-Oriented Programming • Algorithms and Data Structures • Experience with (Small) Software Projects • Statistics			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz	Students explain the different phases of testing, describe fundamental techniques of different types of testing, and paraphrase the basic principles of the corresponding test process. They give examples of software development scenarios and the corresponding test type and technique. They explain algorithms used for particular testing techniques and describe possible advantages and limitations. Students identify the appropriate testing type and technique for a given problem. They adapt and execute respective algorithms to execute a concrete test technique properly. They interpret testing results and execute corresponding steps for proper re-test scenarios. They write and analyze test specifications. They apply bug finding techniques for non-trivial problems.			
<i>Wissen</i>				
<i>Fertigkeiten</i>				
Personale Kompetenzen	Students discuss relevant topics in class. They defend their solutions orally. They communicate in English. Students can assess their level of knowledge continuously and adjust it appropriately, based on feedback and on self-guided studies. Within li own learning goals. Upon successful completion, students can identify and precisely formulate new problems in academic or applied research testing. Within this field, they can conduct independent studies to acquire the necessary competencies and compile their findings in acad devise plans to arrive at new solutions or assess existing ones			
<i>Sozialkompetenz</i>				
<i>Selbstständigkeit</i>				
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Keine			
Prüfung	Fachtheoretisch-fachpraktische Arbeit			
Prüfungsdauer und -umfang	Software			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Software: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : W			

Lehrveranstaltung L1791: Software Testing	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Fundamentals of software testing • Model-based testing • Test automation • Criteria-based testing
Literatur	• M. Pezze and M. Young, Software Testing and Analysis, John Wiley 2008. • P. Ammann and J. Offutt, "Introduction to Software Testing", 2nd edition 2016. • A. Zeller: "Why Programs Fail: A Guide to Systematic Debugging", 2nd edition 2012.

Lehrveranstaltung L1792: Software Testing	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Schupp
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	• Fundamentals of software testing • Model-based testing • Test automation • Criteria-based testing
Literatur	• M. Pezze and M. Young, Software Testing and Analysis, John Wiley 2008. • P. Ammann and J. Offutt, "Introduction to Software Testing", 2nd edition 2015.

Modul M1842: GPU Architectures

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
GPU Architecture (L3039)	Vorlesung	3	4
GPU Architecture (L3040)	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	1	2
Modulverantwortlicher	Prof. Sohan Lal		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	An introductory module on computer engineering or computer architecture, and good programming skills in C/C++.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i> <i>Fertigkeiten</i> Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	30 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Embedded Systems: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L3039: GPU Architecture

Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Sohan Lal
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	- Review of computer architecture basics - measuring performance, benchmarks, five-stage RISC pipeline, caches - GPU basics - evolution of GPU computing, a high-level overview of a GPU architecture - GPU programming with CUDA - program structure, CUDA threads organization, warp/thread-block scheduling - GPU (micro) architecture - streaming multiprocessors, single instruction multiple threads (SIMT) core design, tensor/RT cores, mixed-precision support - GPU memory hierarchy - banked register file and operand collectors, shared memory, GPU caches (differences w.r.t. CPU caches), global memory - Branch and memory divergence - branch handling, stack-based reconvergence, memory coalescing, coalescer design - Barriers and synchronization - Temporal and spatial locality exploitation challenges in GPU caches - Global memory- high throughput requirements, GDDR/HBM, memory bandwidth optimization techniques - GPU research issues - performance bottlenecks, GPU power modeling, high-power consumption/energy efficiency, GPU security - Application case study - deep learning - Cycle accurate simulators for GPUs The learning in the lectures will be augmented by a semester-long problem-based project.
Literatur	

Lehrveranstaltung L3040: GPU Architecture	
Typ	Projekt-/problemorientierte Lehrveranstaltung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Sohan Lal
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1810: Autonomous Cyber-Physical Systems				
Lehrveranstaltungen				
Titel	Typ		SWS	LP
Autonomous Cyber-Physical Systems (L3000)	Vorlesung		2	3
Autonomous Cyber-Physical Systems (L3001)	Gruppenübung		2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Bernd-Christian Renner			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	• Very Good knowledge and practical experience in programming in the C language (Module: Procedural Programming) • Basic knowledge in software engineering • Basic knowledge in wired and wireless communication protocols • Principal understanding of simple electronic circuits			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz				
<i>Wissen</i>				
<i>Fertigkeiten</i>				
Personale Kompetenzen				
<i>Sozialkompetenz</i>				
<i>Selbstständigkeit</i>				
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung	
	Nein 10 %	Testate		
Prüfung	Klausur			
Prüfungsdauer und -umfang	90 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L3000: Autonomous Cyber-Physical Systems	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Bernd-Christian Renner
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	
Literatur	

Lehrveranstaltung L3001: Autonomous Cyber-Physical Systems	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Bernd-Christian Renner
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1694: Security of Cyber-Physical Systems				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Sicherheit von Cyber-physischen Systemen (L2691)		Vorlesung	2	3
Sicherheit von Cyber-physischen Systemen (L2692)		Gruppenübung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Sibylle Fröschle			
Zulassungsvoraussetzungen	None			
Empfohlene Vorkenntnisse	IT security, programming skills, statistics			
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht			
Fachkompetenz				
<i>Wissen</i>	The students know and can explain - the threats posed by cyber attacks to cyber-physical systems (CPS) - concrete attacks at a technical level, e.g. on bus systems - security solutions specific to CPS with their capabilities and limitations - examples of security architectures for CPS and the requirements they guarantee - standard security engineering processes for CPS			
<i>Fertigkeiten</i>	The students are able to - identify security threats and assess the risks for a given CPS - apply attack toolkits to analyse a networked control system, and detect attacks beyond those taught in class - identify and apply security solutions suitable to the requirements - follow security engineering processes to develop a security architecture for a given CPS - recognize challenges and limitations, e.g. posed by novel types of attack			
Personale Kompetenzen				
<i>Sozialkompetenz</i>	The students are able to - expertly discuss security risks and incidents of CPS and their mitigation in a solution-oriented fashion with experts and non-experts - foster a security culture with respect to CPS and the corresponding critical infrastructures			
<i>Selbstständigkeit</i>	The students are able to - follow up and critically assess current developments in the security of CPS including relevant security incidents - master a new topic within the area by self-study and self-initiated interaction with experts and peers.			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56			
Leistungspunkte	6			
Studienleistung	Verpflichtend	Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung
	Nein	10 %	Übungsaufgaben	Die Übungsaufgaben finden semesterbegleitend statt.
Prüfung	Klausur			
Prüfungsdauer und -umfang	120 min			
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung I. Computer- und Software-Engineering: Wahlpflicht Data Science: Vertiefung II. Computer Science: Wahlpflicht Data Science: Vertiefung IV. Special Focus Area: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L2691: Security of Cyber-Physical Systems	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Fröschle
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Embedded systems in energy, production, and transportation are currently undergoing a technological transition to highly networked automated cyber-physical systems (CPS). Such systems are potentially vulnerable to cyber attacks, and these can have physical impact. In this course we investigate security threats, solutions and architectures that are specific to CPS. The topics are as follows: Fundamentals and motivating examples Networked and embedded control systems Bus system level attacks Intruder detection systems (IDS), in particular physics-based IDS System security architectures, including cryptographic solutions Adversarial machine learning attacks in the physical world Aspects of Location and Localization Wireless networks and infrastructures for critical applications Communication security architectures and remaining threats Intruder detection systems (IDS), in particular data-centric IDS Resilience against multi-instance attacks Security Engineering of CPS: Process and Norms
Literatur	Recent scientific papers and reports in the public domain.

Lehrveranstaltung L2692: Security of Cyber-Physical Systems	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sibylle Fröschle
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1598: Bildverarbeitung				
Lehrveranstaltungen				
Titel		Typ	SWS	LP
Bildverarbeitung (L2443)		Vorlesung	2	4
Bildverarbeitung (L2444)		Gruppenübung	2	2
Modulverantwortlicher		Prof. Tobias Knopp		
Zulassungsvoraussetzungen		Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse		Signal und Systeme		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse		Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<i>Wissen</i>	Die Studierenden kennen • Visuelle Wahrnehmung • Mehrdimensionale Signalverarbeitung • Abtastung und Abtasttheorem • Filterung • Bildverbesserung • Kantendetektion • Mehrfachauflösende Verfahren: Gauss- und Laplace-Pyramide, Wavelets • Bildkompression • Segmentierung • Morphologische Bildverarbeitung		
	<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden können • multidimensionale Bilddaten analysieren, bearbeiten, verbessern • einfache Kompressionsalgorithmen implementieren • eigene Filter für konkrete Anwendungen entwerfen		
	Personale Kompetenzen			
	<i>Sozialkompetenz</i>	Die Studierenden können in sowohl selbstständig als auch in Teams an komplexen Problemen arbeiten. Sie können sich untereinander austauschen und ihre individuellen Stärken zur Lösung des Problems einbringen.		
	<i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden sind in der Lage ein komplexes Problem eigenständig zu untersuchen und einzuschätzen, welche Kompetenzen zur Lösung des Problems benötigt werden.		
Arbeitsaufwand in Stunden		Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte		6		
Studienleistung		Keine		
Prüfung		Klausur		
Prüfungsdauer und -umfang		90 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Data Science: Kernqualifikation: Wahlpflicht			
	Data Science: Vertiefung I. Mathematik/Informatik: Wahlpflicht			
	Data Science: Vertiefung II. Computer Science: Wahlpflicht			
	Data Science: Vertiefung IV. Special Focus Area: Wahlpflicht			
	Elektrotechnik: Vertiefung Nachrichten- und Kommunikationstechnik: Wahlpflicht			
	Elektrotechnik: Vertiefung Medizintechnik: Wahlpflicht			
	Information and Communication Systems: Vertiefung Kommunikationssysteme, Schwerpunkt Signalverarbeitung: Wahlpflicht			
	Information and Communication Systems: Vertiefung Sichere und zuverlässige IT-Systeme, Schwerpunkt Software und Signalverarbeitung : Wahlpflicht			
	Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Vertiefung II. Informationstechnologie: Wahlpflicht			
	Mechatronics: Vertiefung Intelligente Systeme und Robotik: Wahlpflicht			
	Mechatronics: Vertiefung Systementwurf: Wahlpflicht			
	Mechatronics: Kernqualifikation: Wahlpflicht			
	Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht			
	Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht			

Lehrveranstaltung L2443: Bildverarbeitung	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 92, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	• Visuelle Wahrnehmung • Mehrdimensionale Signalverarbeitung • Abtastung und Abtasttheorem • Filterung • Bildverbesserung • Kantendetektion • Mehrfachauflösende Verfahren: Gauss- und Laplace-Pyramide, Wavelets • Bildkompression • Segmentierung • Morphologische Bildverarbeitung
Literatur	Bredies/Lorenz, Mathematische Bildverarbeitung, Vieweg, 2011 Pratt, Digital Image Processing, Wiley, 2001 Bernd Jähne: Digitale Bildverarbeitung - Springer, Berlin 2005

Lehrveranstaltung L2444: Bildverarbeitung	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Thesis

Modul M-002: Masterarbeit			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Modulverantwortlicher	Professoren der TUHH		
Zulassungsvoraussetzungen	Laut ASPO § 21 (1): Es müssen mindestens 60 Leistungspunkte im Studiengang erworben worden sein. Über Ausnahmen entscheidet der Prüfungsausschuss.		
Empfohlene Vorkenntnisse	keine		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i> - Die Studierenden können das Spezialwissen (Fakten, Theorien und Methoden) ihres Studienfaches sicher zur Bearbeitung fachlicher Fragestellungen einsetzen. - Die Studierenden können in einem oder mehreren Spezialbereichen ihres Faches die relevanten Ansätze und Terminologien in der Tiefe erklären, aktuelle Entwicklungen beschreiben und kritisch Stellung beziehen. - Die Studierenden können eine eigene Forschungsaufgabe in ihrem Fachgebiet verorten, den Forschungsstand erheben und kritisch einschätzen. <i>Fertigkeiten</i> - Die Studierenden sind in der Lage, für die jeweilige fachliche Problemstellung geeignete Methoden auszuwählen, anzuwenden und ggf. weiterzuentwickeln. - Die Studierenden sind in der Lage, im Studium erworbenes Wissen und erlernte Methoden auch auf komplexe und/oder unvollständig definierte Problemstellungen lösungsorientiert anzuwenden. - Die Studierenden können in ihrem Fachgebiet neue wissenschaftliche Erkenntnisse erarbeiten und diese kritisch beurteilen. Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> Studierende können - eine wissenschaftliche Fragestellung für ein Fachpublikum sowohl schriftlich als auch mündlich strukturiert, verständlich und sachlich richtig darstellen. - in einer Fachdiskussion Fragen fachkundig und zugleich adressatengerecht beantworten und dabei eigene Einschätzungen überzeugend vertreten. <i>Selbstständigkeit</i> Studierende sind fähig, - ein eigenes Projekt in Arbeitspakete zu strukturieren und abzuarbeiten. - sich in ein teilweise unbekanntes Arbeitsgebiet des Studiengangs vertieft einzuarbeiten und dafür benötigte Informationen zu erschließen. - Techniken des wissenschaftlichen Arbeitens umfassend in einer eigenen Forschungsarbeit anzuwenden.			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 900, Präsenzstudium 0		
Leistungspunkte	30		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Abschlussarbeit		
Prüfungsdauer und -umfang	laut ASPO		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Bauingenieurwesen: Abschlussarbeit: Pflicht Bioverfahrenstechnik: Abschlussarbeit: Pflicht Chemical and Bioprocess Engineering: Abschlussarbeit: Pflicht Computer Science: Abschlussarbeit: Pflicht Data Science: Abschlussarbeit: Pflicht Elektrotechnik: Abschlussarbeit: Pflicht Energietechnik: Abschlussarbeit: Pflicht Environmental Engineering: Abschlussarbeit: Pflicht Flugzeug-Systemtechnik: Abschlussarbeit: Pflicht Global Innovation Management: Abschlussarbeit: Pflicht Informatik-Ingenieurwesen: Abschlussarbeit: Pflicht Information and Communication Systems: Abschlussarbeit: Pflicht Interdisciplinary Mathematics: Abschlussarbeit: Pflicht International Production Management: Abschlussarbeit: Pflicht Internationales Wirtschaftsingenieurwesen: Abschlussarbeit: Pflicht Joint European Master in Environmental Studies - Cities and Sustainability: Abschlussarbeit: Pflicht		

Logistik, Infrastruktur und Mobilität: Abschlussarbeit: Pflicht
Luftfahrttechnik: Abschlussarbeit: Pflicht
Materials Science and Engineering: Abschlussarbeit: Pflicht
Materialwissenschaft: Abschlussarbeit: Pflicht
Mechanical Engineering and Management: Abschlussarbeit: Pflicht
Mechatronics: Abschlussarbeit: Pflicht
Mediziningenieurwesen: Abschlussarbeit: Pflicht
Microelectronics and Microsystems: Abschlussarbeit: Pflicht
Produktentwicklung, Werkstoffe und Produktion: Abschlussarbeit: Pflicht
Regenerative Energien: Abschlussarbeit: Pflicht
Schiffbau und Meerestechnik: Abschlussarbeit: Pflicht
Ship and Offshore Technology: Abschlussarbeit: Pflicht
Teilstudiengang Lehramt Metalltechnik: Abschlussarbeit: Pflicht
Theoretischer Maschinenbau: Abschlussarbeit: Pflicht
Verfahrenstechnik: Abschlussarbeit: Pflicht
Wasser- und Umweltingenieurwesen: Abschlussarbeit: Pflicht
Zulassungs- und Sachverständigenwesen in der Luftfahrt: Abschlussarbeit: Pflicht