



Modulhandbuch

Master of Science (M.Sc.)

Informatik-Ingenieurwesen

Kohorte: Wintersemester 2022

Stand: 21. Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Studiengangsbeschreibung	3
Fachmodule der Kernqualifikation	6
Modul M0523: Betrieb & Management	6
Modul M0524: Nichttechnische Angebote im Master	7
Modul M1421: Forschungsprojekt	9
Fachmodule der Vertiefung I. Informatik	10
Modul M0942: Software Security	10
Modul M0753: Software Verification	12
Modul M1694: Security of Cyber-Physical Systems	14
Modul M1427: Algorithmische Spieltheorie	16
Modul M1400: Entwurf von Dependable Systems	18
Modul M1774: Advanced Internet Computing	20
Modul M1810: Autonomous Cyber-Physical Systems	22
Modul M1812: Constraint Satisfaction Problems	23
Modul M0836: Communication Networks	24
Modul M1249: Medizinische Bildgebung	26
Modul M1780: Massively Parallel Systems: Architecture and Programming	28
Fachmodule der Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften	30
Modul M0676: Digitale Nachrichtenübertragung	30
Modul M1250: Elektrische Energiesysteme II: Betrieb und Informationssysteme elektrischer Energienetze	34
Modul M0673: Information Theory and Coding	36
Modul M1666: Intelligente Systeme Projekt	39
Modul M1785: Machine Learning in Electrical Engineering and Information Technology	40
Modul M0677: Digital Signal Processing and Digital Filters	43
Fachmodule der Vertiefung III. Mathematik	45
Modul M1428: Lineare und Nichtlineare Optimierung	45
Modul M0881: Mathematische Bildverarbeitung	47
Modul M1405: Randomisierte Algorithmen und Zufällige Graphen	49
Modul M0711: Numerische Mathematik II	51
Modul M1552: Fortgeschrittenes maschinelles Lernen	53
Fachmodule der Vertiefung IV. Fachspezifische Fokussierung	55
Modul M1434: Technischer Ergänzungskurs I für IIW	55
Modul M1435: Technischer Ergänzungskurs II für IIW	56
Thesis	57
Modul M-002: Masterarbeit	57

Studiengangsbeschreibung

Inhalt

Der Masterstudiengang Informatik-Ingenieurwesen führt die Ausrichtung auf cyber-physische Systeme, also vernetzte Rechensysteme in ihrer physischen Umwelt, aus dem Bachelorstudium konsequent fort. Dies geschieht durch eine tiefgreifende Informatikausbildung mit Bezug zu Ingenieursdisziplinen, speziell der Elektrotechnik. Studierende erwerben tiefgreifende Kompetenzen bis zum neuesten Forschungsstand in der Informatik, wie zum Beispiel zu maschinellem Lernen oder Data Science, mit dem Ziel, diese in Ingenieursanwendungen erfolgreich einzusetzen.

Der Masterstudiengang Informatik-Ingenieurwesen baut auf den drei Pfeilern Mathematik, Informatik und Ingenieurwissenschaften auf. Entsprechende Wahlpflichtkataloge garantieren, dass vertiefte Kenntnisse in diesen drei Vertiefungen erlernt werden. Im Ingenieursbereich steht die Elektrotechnik im Fokus. Zusätzlich bietet das Curriculum sehr große Freiräume, um Veranstaltungen aus dem weiteren technischen Angebot der TUHH zu wählen. So setzen Studierende eigene Akzente, um interdisziplinäre Brücken in spezifische Ingenieursbereiche zu schlagen. Ebenso werden weiterführende Kenntnisse in Betriebswirtschaftslehre und Management sowie in nicht-technischen Fächern erworben, um die Kompetenzen für die Durchführung umfangreicher IT-Projekte zu bilden. Dies umfasst insbesondere die Fähigkeit zum selbstständigen Erarbeiten komplexer Wissensbereiche und die selbstständige Bearbeitung komplexer technischer Fragestellungen.

Die Studienverlaufspläne zu (N) vernetzten eingebetteten Systemen, (D) verlässlichen und sicheren Systemen, (A) Algorithmen für Data Engineering sowie (M) Medizintechnik zeigen beispielhafte Ausrichtungen von hoher praktischer Relevanz.

Berufliche Perspektiven

Absolvent:innen können wissenschaftliche Tätigkeiten an Universitäten und Forschungsinstituten insbesondere mit dem Ziel der Promotion aufnehmen oder sich für den direkten Einstieg in die Industrie entscheiden. Sie besitzen vielfältiges Methoden- und Schnittstellenwissen, welches sie zur disziplinübergreifenden Arbeit befähigt.

Lernziele

Die Lernziele des Studiengangs basieren auf den oben aufgeführten Zielen. Alle aufgeführten Lernziele stellen Kompetenzen dar, die sowohl im Unternehmens- als auch im Forschungsumfeld benötigt werden. In Abgrenzung zum Bachelorstudiengang Informatik und Ingenieurwissenschaften beziehen sich die hier aufgeführten Kompetenzen auf komplexe Problemstellungen, auf die Berücksichtigung von Unsicherheit und auf das Arbeiten unter vorgegebenen Randbedingungen aus Anwendungsfeldern. Im Folgenden werden die Lernziele in die Kategorien Wissen, Fertigkeiten, Sozialkompetenz und Selbstständigkeit unterteilt.

Kenntnisse

- Ingenieurwissenschaften: Absolvent:innen haben ein vertieftes Verständnis mathematisch-naturwissenschaftlicher sowie systemtechnischer Zusammenhänge in den Ingenieurwissenschaften mit einem Fokus in der Elektrotechnik. Diese Kenntnisse sind mit einem breiten theoretischen und methodischen Fundament untermauert.
- Informatik: Absolvent:innen haben ein vertieftes Wissen zu Methoden und Verfahren zur Modellbildung und Problemlösung in der theoretischen, praktischen und technischen Informatik.
- Mathematik: Absolvent:innen verfügen über vertiefte Kenntnisse in mathematischen Methoden zur Optimierung, Bildverarbeitung, randomisierten Algorithmen oder neuronalen Netzen.
- Wirtschaftswissenschaften: Absolvent:innen kennen die Grundlagen aus Betrieb und Management und angrenzenden Fächern wie Patentwesen und deren Beziehung zu ihrem Fach.
- Brückenschlag zwischen Informatik und Ingenieurwissenschaften: Absolvent:innen haben vertieftes Wissen zu Methoden und Verfahren, um Schnittstellen zwischen Ingenieursanwendungen einerseits und Modellen der Informatik andererseits zu beschreiben. Absolvent:innen sind vertraut mit aktuellsten informations- und kommunikationstechnischen Systemen, die mit der physischen Umwelt interagieren - so genannten cyber-physischen Systemen.

Fertigkeiten

- Ingenieurwissenschaften: Absolvent:innen können ihr ingenieurwissenschaftliches Urteilsvermögen anzuwenden, um mit komplexen, möglicherweise unvollständigen Informationen zu arbeiten, Widersprüche zu erkennen und mit ihnen umzugehen.
- Informatik: Absolvent:innen sind in der Lage, Instanzen umfassender formaler Modelle der Informatik anhand weitergehender Modellierungsansätze zu entwickeln, ihre Berechenbarkeit und Komplexität zu ermitteln und sie vermöge geeigneter Programmierwerkzeuge in einem technischen Rahmen umzusetzen. Absolvent:innen können daraus Softwarelösungen entwerfen und realisieren. Dies umfasst komplexe Software-Systeme, bei denen verteilte Realisierung, Verlässlichkeit oder Korrektheit eine besondere Rolle spielen.
- Mathematik: Absolvent:innen können Optimierungsprobleme lösen, mathematische Methoden der Bildverarbeitung oder randomisierte Algorithmen anwenden.
- Brückenschlag zwischen Informatik und Ingenieurwissenschaften: Absolvent:innen können Probleme aus dem Ingenieursbereich wissenschaftlich analysieren und lösen sowie eine geeignete Formalisierung zur informationstechnischen Behandlung erarbeiten und eine Software-Lösung realisieren. Absolvent:innen können cyber-physische Systeme realisieren, die verteilt und vernetzt sind.

Sozialkompetenz

- Absolvent:innen sind in der Lage, die wissenschaftliche Vorgehensweise und resultierende Ergebnisse ihrer Arbeit schriftlich und mündlich verständlich darzustellen.
- Absolvent:innen können über wissenschaftliche Inhalte und Probleme der Informatik mit Fachleuten aus Ingenieursbereichen und Laien kommunizieren. Sie können auf Nachfragen, Ergänzungen und Kommentare geeignet reagieren.

Selbstständigkeit

- Absolvent:innen sind in der Lage, notwendige Informationen zu beschaffen und in den Kontext ihres Wissens zu setzen.
- Absolvent:innen können ihre vorhandenen Kompetenzen realistisch einschätzen, Defizite selbstständig kompensieren und zusätzliche Kompetenzen selbstständig erwerben.
- Absolvent:innen können selbstorganisiert und -motiviert Forschungsgebiete erarbeiten und neue Problemstellungen finden bzw. definieren (lebenslanges Forschen).

Studiengangsstruktur

Modulhandbuch M.Sc. "Informatik- Ingenieurwesen"

Das Curriculum des Masterstudiengangs Informatik-Ingenieurwesen ist wie folgt gegliedert. Aus den drei Kernbereichen Informatik, Ingenieurwissenschaften und Mathematik ist je eine Mindestanzahl von Leistungspunkten zu belegen:

1. Informatik: 18 Leistungspunkte
2. Ingenieurwissenschaften: 12 Leistungspunkte
3. Mathematik: 12 Leistungspunkte

Zur Vertiefung des Studiums können Studierende Vorlesungen aus einem Katalog an technischen Veranstaltungen der TUHH auswählen. Insgesamt müssen 24 Leistungspunkte erreicht werden. Praktische Kenntnisse und Fertigkeiten werden in einem Forschungsprojekt vermittelt (12 Leistungspunkte). Weitere 12 Leistungspunkte müssen in den Veranstaltungen Betrieb & Management und einem Nichttechnischen Ergänzungskurs erworben werden. Die Masterarbeit wird mit 30 Leistungspunkten bewertet. Damit ergibt sich ein Gesamtaufwand von 120 Leistungspunkten. Der Studienplan enthält ein Mobilitätsfenster derart, dass Studierende das dritte Semester im Ausland absolvieren können.

Die folgenden vier Studienverlaufspläne beschreiben spezielle Ausprägungen des IIW Masters.

N. Networked Embedded Systems

1. Kernfächer Informatik

- Software-Sicherheit
- Entwurf von Dependable Systems
- Kommunikationsnetze

2. Kernfächer Ingenieurwissenschaften

- Digitale Nachrichtenübertragung
- Informationstheorie und Codierung

3. Kernfächer Mathematik

- Lineare und Nichtlineare Optimierung
- Randomisierte Algorithmen und Zufällige Graphen

4. Technische Ergänzungskurse

- Software für eingebettete Systeme
- Simulation von Kommunikationsnetzen
- Drahtlose Sensornetze
- Betriebssystembau

D. Dependable and Secure Systems

1. Kernfächer Informatik

- Software-Sicherheit
- Softwareverifikation
- Entwurf von Dependable Systems

2. Kernfächer Ingenieurwissenschaften

- Digitale Signalverarbeitung und Filter
- Elektrische Energiesysteme II: Betrieb und Informationssysteme elektrischer Energienetze

3. Kernfächer Mathematik

- Lineare und Nichtlineare Optimierung
- Numerische Mathematik II

4. Technische Ergänzungskurse

- Robotik & Navigation in der Medizin
- Data Science zur Cybersicherheit
- Sicherheit von Cyber-physischen Systemen
- Prozessautomatisierungstechnik

A. Algorithms for Data Engineering

1. Kernfächer Informatik

- Softwareverifikation
- Algorithmische Spieltheorie
- Advanced Internet Computing

2. Kernfächer Ingenieurwissenschaften

- Informationstheorie und Codierung
- Maschinelles Lernen in der Elektro- und Informationstechnik

3. Kernfächer Mathematik

Modulhandbuch M.Sc. "Informatik- Ingenieurwesen"

- Mathematische Bildverarbeitung
- Mathematik neuronaler Netzwerke
- 4. Technische Ergänzungskurse
 - Massively Parallel Systems: Architecture and Programming
 - Numerische Mathematik II
 - Approximation und Stabilität
 - Hierarchische Algorithmen

M. Medizintechnik

1. Kernfächer Informatik
 - Softwareverifikation
 - Medizinische Bildgebung
 - Sicherheit von Cyber-physischen Systemen
2. Kernfächer Ingenieurwissenschaften
 - Intelligente Systeme Projekt
 - Digitale Signalverarbeitung und Digitale Filter
3. Kernfächer Mathematik
 - Mathematische Bildverarbeitung
 - Numerische Mathematik II
4. Technische Ergänzungskurse
 - Wahrscheinlichkeitstheorie
 - Intelligente Systeme in der Medizin
 - Robotik & Navigation in der Medizin
 - Regelungstechnische Methoden für die Medizintechnik

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> <i>Fertigkeiten</i> Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 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. <ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden können in ausgewählten betriebswirtschaftlichen Teilbereichen grundlegende Methoden anwenden. • Die Studierenden können für praktische Fragestellungen in betriebswirtschaftlichen Teilbereichen Entscheidungsvorschläge begründen. <ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden sind in der Lage, in interdisziplinären Kleingruppen zu kommunizieren und gemeinsam Lösungen für komplexe Problemstellungen zu erarbeiten. <ul style="list-style-type: none"> • 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>	<p>Die Nichttechnischen Angebote (NTA)</p> <p>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.</p> <p>Die Lehrarchitektur</p> <p>besteht aus einem studiengangübergreifenden Pflichtstudienangebot. Durch dieses zentral konzipierte Lehrangebot wird die Profilierung der TUHH Ausbildung auch im nichttechnischen Bereich gewährleistet.</p> <p>Die Lernarchitektur erfordert und übt eigenverantwortliche Bildungsplanung in Hinblick auf den individuellen Kompetenzaufbau ein und stellt dazu Orientierungswissen zu thematischen Schwerpunkten von Veranstaltungen bereit.</p> <p>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.</p> <p>Die Lehr-Lern-Arrangements</p> <p>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.</p> <p>Die Lehrbereiche</p> <p>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.</p> <p>Das Kompetenzniveau</p> <p>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.</p> <p>Fachkompetenz (Wissen)</p> <p>Die Studierenden können</p> <ul style="list-style-type: none"> • ausgewähltes 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>	<p>Die Studierenden können in ausgewählten Teilbereichen</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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

Modul M1421: Forschungsprojekt			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Forschungsprojekt IIW (L2042)		Projektierungskurs	8 12
Modulverantwortlicher	Prof. Görschwin Fey		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Wissen und Fertigkeiten aus einer der Vertiefungen im Master-Bereich des Studienganges		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	Die Studierenden wissen, wie man sich ein Teilgebiet der Informatik (oder in einen angrenzenden Bereich) selbständig erschließt.		
<i>Wissen</i>			
<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden können ein Teilgebiet der Informatik (oder in einem angrenzenden Bereich) selbständig bearbeiten.		
Personale Kompetenzen	Studierenden erläutern die in einem wissenschaftlichen Aufsatz geschilderten Probleme und die im Aufsatz entwickelten Lösungen in einem Fachgebiet der Informatik oder Mathematik, bewerten die vorgeschlagenen Lösungen in einem Vortrag und reagieren auf wissenschaftliche Nachfragen, Ergänzungen und Kommentare.		
<i>Sozialkompetenz</i>			
<i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden können ein Teilgebiet in einer Präsentation vorstellen. Sie können aktiv die Präsentationen anderer Studierender verfolgen, so dass evtl. ein interaktiver Diskurs über ein wissenschaftliches Thema entsteht.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 248, Präsenzstudium 112		
Leistungspunkte	12		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Studienarbeit		
Prüfungsdauer und -umfang	Das Seminar erfordert die Präsentation eines aktuellen Forschungsthemas (Vortrag 25-30 min und Diskussion 5 min).		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Informatik-Ingenieurwesen: Kernqualifikation: Pflicht		

Lehrveranstaltung L2042: Forschungsprojekt IIW	
Typ	Projektierungskurs
SWS	8
LP	12
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 248, Präsenzstudium 112
Dozenten	Prof. Volker Turau (sgwe)
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe/SoSe
Inhalt	Aktuelle Forschungsthemen aus der gewählten Vertiefungsrichtung.
Literatur	Aktuelle Literatur zu Forschungsthemen aus der gewählten Vertiefungsrichtung. / Current literature on research topics of the chosen specialization.

Fachmodule der Vertiefung I. Informatik

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	Students can		
<i>Wissen</i>	<ul style="list-style-type: none"> 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		
	<ul style="list-style-type: none"> performing a software vulnerability analysis developing secure code 		
Personale Kompetenzen	None		
<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	<ul style="list-style-type: none"> • Reliability and Software Security • Attacks exploiting character and integer representations • Buffer overruns • Vulnerabilities in memory managemet: double free attacks • Race conditions • SQL injection • Cross-site scripting and cross-site request forgery • Testing for security; taint analysis • Type safe languages • Development proceses for secure software • Code-based access control
Literatur	<p>M. Howard, D. LeBlanc: Writing Secure Code, 2nd edition, Microsoft Press (2002)</p> <p>G. Hoglund, G. McGraw: Exploiting Software, Addison-Wesley (2004)</p> <p>L. Gong, G. Ellison, M. Dageforde: Inside Java 2 Platform Security, 2nd edition, Addison-Wesley (2003)</p> <p>B. LaMacchia, S. Lange, M. Lyons, R. Martin, K. T. Price: .NET Framework Security, Addison-Wesley Professional (2002)</p> <p>D. Gollmann: Computer Security, 3rd edition (2011)</p>

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 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<p><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.</p> <p><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.</p> <p>Personale Kompetenzen</p> <p><i>Sozialkompetenz</i> Students discuss relevant topics in class. They defend their solutions orally. They communicate in English.</p> <p><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.</p>		
Arbeitsaufwand in Stunden			
Leistungspunkte			
Studienleistung			
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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 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 <ul style="list-style-type: none"> - 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 <ul style="list-style-type: none"> - 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 <ul style="list-style-type: none"> - 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 <ul style="list-style-type: none"> - 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 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	<p>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:</p> <p>Fundamentals and motivating examples</p> <p>Networked and embedded control systems</p> <ul style="list-style-type: none"> Bus system level attacks Intruder detection systems (IDS), in particular physics-based IDS System security architectures, including cryptographic solutions <p>Adversarial machine learning attacks in the physical world</p> <p>Aspects of Location and Localization</p> <p>Wireless networks and infrastructures for critical applications</p> <ul style="list-style-type: none"> Communication security architectures and remaining threats Intruder detection systems (IDS), in particular data-centric IDS Resilience against multi-instance attacks <p>Security Engineering of CPS: Process and Norms</p>
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 M1427: Algorithmische Spieltheorie			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Algorithmische Spieltheorie (L2060)	Vorlesung	2	4
Algorithmische Spieltheorie (L2061)	Hörsaalübung	2	2
Modulverantwortlicher	Prof. Matthias Mnich		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Mathematik I • Mathematik II • Algorithmen und Datenstrukturen 		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden können die Grundkonzepte der algorithmischen Spieltheorie und des Mechanismusdesigns benennen. Sie können sie anhand geeigneter Beispiele erklären. • Die Studierenden können logische Zusammenhänge zwischen diesen Konzepten diskutieren. Sie können diese Zusammenhänge anhand von Beispielen veranschaulichen. • Sie kennen Spiel- und Mechanismusdesignstrategien und können diese reproduzieren. 		
<i>Wissen</i>			
<i>Fertigkeiten</i>			
Personale Kompetenzen			
<i>Sozialkompetenz</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden können mithilfe der in diesem Kurs untersuchten Konzepte strategische Interaktionssysteme von Agenten modellieren. Darüber hinaus sind sie in der Lage, ihre Effizienz und Gleichgewichte mithilfe etablierter Methoden zu analysieren. • Die Studierenden können weitere logische Zusammenhänge zwischen den im Kurs untersuchten Konzepten entdecken und überprüfen. • Für ein bestimmtes Problem können die Studierenden einen geeigneten Ansatz entwickeln und ausführen und die Ergebnisse kritisch bewerten. 		
<i>Selbstständigkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Studierenden können in Teams zusammenarbeiten. Sie können Mathematik als gemeinsame Sprache verwenden. • Auf diese Weise können sie neue Konzepte entsprechend den Bedürfnissen ihrer Kooperationspartner kommunizieren. Darüber hinaus können sie Beispiele entwerfen, um das Verständnis ihrer Kommilitonen zu überprüfen und zu vertiefen. • Die Studierenden können ihr Verständnis komplexer Konzepte selbst überprüfen. Sie können offene Fragen genau spezifizieren und wissen, wo sie Hilfe bei der Lösung erhalten können. • Die Studierenden haben eine ausreichende Ausdauer entwickelt, um länger zielgerichtet an schwierigen Problemen arbeiten zu können. 		
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 Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2060: Algorithmische Spieltheorie	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 92, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Matthias Mnich
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	<p>Algorithmische Spieltheorie ist ein Thema an der Schnittstelle von Informatik, Wirtschaft und Mathematik. Es befasst sich mit der Analyse des Verhaltens und der Interaktionen strategischer Akteure, die häufig versuchen, ihre Anreize zu maximieren. Die Umgebung, in der diese Agenten interagieren, wird als Spiel bezeichnet. Wir möchten verstehen, ob die Agenten ein "Gleichgewicht" oder einen stabilen Zustand des Spiels erreichen können, in dem die Agenten keinen Anreiz haben, von ihren gewählten Strategien abzuweichen. Der algorithmische Teil besteht darin, effiziente Methoden zu entwickeln, um Gleichgewichte in Spielen zu finden, und den Agenten Empfehlungen zu geben, damit sie schnell einen Zustand persönlicher Zufriedenheit erreichen können.</p> <p>Wir werden auch das Mechanismusdesign untersuchen. Beim Mechanismusdesign möchten wir Märkte und Auktionen gestalten und den Agenten strategische Optionen geben, damit sie einen Anreiz haben, rational zu handeln. Wir möchten die Märkte und Auktionen auch so gestalten, dass sie effizient sind, dass alle Waren freigegeben werden und die Agenten die von ihnen erworbenen Waren nicht überbezahlen.</p> <p>Themen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • grundlegende Gleichgewichtskonzepte (Nash-Gleichgewichte, korrelierte Gleichgewichte, ...) • strategische Maßnahmen (Best-Response-Dynamik, No-Regret-Dynamik, ...) • Auktionsdesign (umsatzmaximierende Auktionen, Vickrey-Auktionen) • stabile Matching-Theorie (Präferenzaggregationen, Nierenaustausch, ...) • Preis der Anarchie und egoistisches Routing (Braess 'Paradoxon, Überlastungsspiele, ...)
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • T. Roughgarden: Twenty Lectures on Algorithmic Game Theory, Cambridge University Press, 2016. • N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, V. Vazirani. Algorithmic Game Theory. Cambridge University Press, 2007.

Lehrveranstaltung L2061: Algorithmische Spieltheorie	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Matthias Mnich
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

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>	<p>Im Folgenden wird "Dependable" als Zusammenfassung von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Wartbarkeit, Sicherheit (Safety & Security) verwendet.</p> <p>Kenntnis von Ansätzen zum Entwurf von Dependable Systems, z.B.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strukturelle Lösungen wie z.B. Modular Redundancy • Algorithmische Lösungen wie z.B. Behandlung Byzantinischer Fehler, Checkpointing, etc. <p>Kenntnis von Methoden zur Analyse der Dependability von Systemen</p>		
<i>Fertigkeiten</i>	<p>Fähigkeit zum Entwurf von Dependable Systems durch Implementierung der obigen Ansätze.</p> <p>Fähigkeit zur Analyse der Dependability von Systemen durch Anwendung der obigen Analysemethoden.</p>		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	<p>Studierende können</p> <ul style="list-style-type: none"> • die jeweiligen Konzepte diskutieren und erläutern sowie • die Lösungen mündlich darstellen. 		
<i>Selbstständigkeit</i>	<p>Studierende erlernen mittels Zusatzmaterial selbständig vertiefende Zusammenhänge der Konzepte aus der Vorlesung und erweiterte Lösungsverfahren.</p>		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend	Bonus	Art der Studienleistung Beschreibung
	Ja	Keiner	Fachtheoretisch- fachpraktische Studienleistung
			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	<p>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</p>		

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	<p>Beschreibung</p> <p>Der Begriff „Dependability“ umfasst verschiedene Aspekte eines Systems. Dies sind typischer Weise:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässigkeit • Verfügbarkeit • Wartbarkeit • Sicherheit - Safety & Security <p>Damit ist Dependability ein zentraler Aspekt, der früh im Systementwurf betrachtet werden muss. Dies gilt für Software, Eingebette Systeme wie auch umfassende Cyber-Physical Systems.</p> <p>Inhalt</p> <p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 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	After successful completion of the course, students are able to:			
<i>Wissen</i>	<ul style="list-style-type: none"> 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	Verpflichtend Bonus	Art der Studienleistung	Beschreibung	
	Ja 20 %	Fachtheoretisch- fachpraktische Studienleistung	Gruppenarbeit mit aktuellen Technologien aus dem Bereich Internet of Things	
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 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	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> 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 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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		

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 M1812: Constraint Satisfaction Problems			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Constraint Satisfaction Problems (L3002)		Vorlesung	2 3
Constraint Satisfaction Problems (L3003)		Hörsaalübung	2 3
Modulverantwortlicher	Prof. Antoine Mottet		
Zulassungsvoraussetzungen	None		
Empfohlene Vorkenntnisse	The students should have followed the courses Complexity Theory, Discrete Algebraic Structures, Linear Algebra.		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Students can describe basic concepts from the theory of constraint satisfaction such as primitive positive formulas, interpretations, polymorphisms, clones • Students can discuss the connections between these concepts • Students know proofs strategies and can reproduce them 		
<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 Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Technomathematik: Vertiefung II. Informatik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L3002: Constraint Satisfaction Problems	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Antoine Mottet
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	This course gives an introduction to the topic of constraint satisfaction problems and their complexity. It will cover the basics of the theory such as the universal-algebraic approach to constraint satisfaction and several classical algorithms such as local consistency checking and the Bulatov-Dalmau algorithm. We will finally discuss the recent research directions in the field.
Literatur	

Lehrveranstaltung L3003: Constraint Satisfaction Problems	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Antoine Mottet
Sprachen	EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<p><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.</p> <p><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.</p> <p>Personale Kompetenzen</p> <p><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.</p> <p><i>Selbstständigkeit</i> Students are able to obtain the necessary expert knowledge for understanding the functionality and performance capabilities of new communication networks independently.</p>		
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	<ul style="list-style-type: none"> • 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.-Ing. Koojana Kuladinithi
Sprachen	EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • Skript des Instituts für Kommunikationsnetze • Tannenbaum, Computernetzwerke, Pearson-Studium <p>Further literature is announced at the beginning of the lecture.</p>

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	<ul style="list-style-type: none"> • announced during lecture

Modul M1249: Medizinische Bildgebung			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Medizinische Bildgebung (L1694)		Vorlesung	2 3
Medizinische Bildgebung (L1695)		Gruppenübung	2 3
Modulverantwortlicher	Prof. Tobias Knopp		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Grundkenntnisse in Linear Algebra, Numerik und Signalverarbeitung		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz			
<i>Wissen</i>	Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage, Rekonstruktionsverfahren für verschiedene tomographische Bildgebungsmodalitäten wie die Computertomographie und die Magnetresonanztomographie zu beschreiben. Sie kennen die nötigen Grundlagen aus den Bereichen der Signalverarbeitung und der inversen Probleme und kennen sowohl analytische als auch iterative Bildrekonstruktionsmethoden. Die Studierenden verfügen über vertiefende Kenntnisse über die Bildgebungsoperatoren der Computertomographie und die Magnetresonanztomographie.		
<i>Fertigkeiten</i>	Die Studierenden sind dazu in der Lage, Rekonstruktionsverfahren zu implementieren und diese anhand von tomographischen Messdaten zu testen. Sie können die rekonstruierten Bilder visualisieren und die Qualität ihrer Daten und Resultate und beurteilen. Zudem können die Studierenden die zeitliche Komplexität von Bildgebungsalgorithmen abschätzen.		
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	Computer Science: Vertiefung II. Intelligenz-Engineering: Wahlpflicht Elektrotechnik: Vertiefung Medizintechnik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: Wahlpflicht Interdisciplinary Mathematics: Vertiefung III. Computational Methods in Biomedical Imaging: Pflicht Microelectronics and Microsystems: Vertiefung Communication and Signal Processing: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Bio- und Medizintechnik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L1694: Medizinische Bildgebung	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Überblick über bekannte Bildgebungsverfahren • Signalverarbeitung • Inverse Probleme • Computertomographie • Magnetresonanztomographie • Compressed Sensing • Magnetic-Particle-Imaging
Literatur	<p>Bildgebende Verfahren in der Medizin; O. Dössel; Springer, Berlin, 2000</p> <p>Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik; H. Morneburg (Hrsg.); Publicis MCD, München, 1995</p> <p>Introduction to the Mathematics of Medical Imaging; C. L. Epstein; Siam, Philadelphia, 2008</p> <p>Medical Image Processing, Reconstruction and Restoration; J. Jan; Taylor and Francis, Boca Raton, 2006</p> <p>Principles of Magnetic Resonance Imaging; Z.-P. Liang and P. C. Lauterbur; IEEE Press, New York, 1999</p>

Lehrveranstaltung L1695: Medizinische Bildgebung	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Tobias Knopp
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
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	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.			
<i>Wissen</i>				
<i>Fertigkeiten</i>	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				
<i>Sozialkompetenz</i>	The course will encourage students to work in small groups to solve complex problems, thus, inculcating the importance of teamwork.			
<i>Selbstständigkeit</i>	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 Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung I. Informatik: 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	<p>Brief outline:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 Massively 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	<p>There will be 3-4 assignments for project-based learning consisting of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>The following literature will be useful for project-based learning. The further required resources will be discussed during the course.</p> <ul style="list-style-type: none"> • David B. Kirk, Wen-mei W. Hwu, Programming Massively Parallel Processors, Elsevier (Book) • MPI Forum, https://www.mpi-forum.org/ • SystemC, https://www.accelera.org/community/systemc

Fachmodule der Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften

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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<p><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.</p> <p>Die Studierenden kennen die Vorlesungs- und Übungsinhalte und können diese erläutern sowie auf neue Fragestellungen anwenden.</p> <p><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 Übertragungsrates, 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-Carrier-Verfahren oder ein Multicarrier-Verfahren zu dimensionieren und die Eigenschaften beider Ansätze gegeneinander abzuwägen.</p> <p>Personale Kompetenzen</p> <p><i>Sozialkompetenz</i> Die Studierenden können in fachspezifische Aufgaben gemeinsam bearbeiten.</p> <p><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.</p>		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend	Bonus	Art der Studienleistung
	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	<ul style="list-style-type: none"> • Repetition: Baseband Transmission <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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-DPSK)
 - 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

	<ul style="list-style-type: none"> • Single-carrier vs. multi-carrier transmission • Multi-carrier transmission <ul style="list-style-type: none"> ◦ General multicarrier transmission ◦ Orthogonal frequency division multiplex (OFDM) <ul style="list-style-type: none"> ▪ OFDM implementation using the Fast Fourier Transform (FFT) ▪ Cyclic guard interval ▪ Power spectral density of OFDM ▪ Peak-to-average power ratio (PAPR) • Multiple access <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rake receiver ◦ Code division multiple access (CDMA) <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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
<p>Literatur</p>	<p>K. Kammeyer: Nachrichtenübertragung, Teubner</p> <p>P.A. Höher: Grundlagen der digitalen Informationsübertragung, Teubner.</p> <p>J.G. Proakis, M. Salehi: Digital Communications. McGraw-Hill.</p> <p>S. Haykin: Communication Systems. Wiley</p> <p>R.G. Gallager: Principles of Digital Communication. Cambridge</p> <p>A. Goldsmith: Wireless Communication. Cambridge.</p> <p>D. Tse, P. Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge.</p>

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	<ul style="list-style-type: none"> - DSL-Übertragung - Stochastische Prozesse - Digitale Datenübertragung
Literatur	<p>K. Kammeyer: Nachrichtenübertragung, Teubner</p> <p>P.A. Höher: Grundlagen der digitalen Informationsübertragung, Teubner.</p> <p>J.G. Proakis, M. Salehi: Digital Communications. McGraw-Hill.</p> <p>S. Haykin: Communication Systems. Wiley</p> <p>R.G. Gallager: Principles of Digital Communication. Cambridge</p> <p>A. Goldsmith: Wireless Communication. Cambridge.</p> <p>D. Tse, P. Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge.</p>

Modul M1250: Elektrische Energiesysteme II: Betrieb und Informationssysteme elektrischer Energienetze			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Elektrische Energiesysteme II: Betrieb und Informationssysteme elektrischer Energienetze (L1696)	Vorlesung	3	4
Elektrische Energiesysteme II: Betrieb und Informationssysteme elektrischer Energienetze (L1697)	Hörsaalübung	2	2
Modulverantwortlicher	Prof. Christian Becker		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Grundlagen der Elektrotechnik, Elektrische Energiesysteme I, Mathematik I, II, III		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	Die Studierenden können Technologien und Informationssysteme der Betriebsführung konventioneller und moderner elektrischer Energieversorgungssysteme sowie Verfahren und Algorithmen der Rechner gestützten stationären Netzberechnung, der Fehlerrechnung, der Netzführung und Systemoptimierung detailliert erläutern und kritisch bewerten.		
<i>Wissen</i>			
<i>Fertigkeiten</i>	Mit Abschluss dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage, die erlernten Technologien und Verfahren zur Planung bzw. Analyse realer elektrischer Energiesysteme anzuwenden und die Ergebnisse kritisch zu bewerten.		
Personale Kompetenzen	Die Studierenden können fachspezifische und fachübergreifende Diskussionen führen, Ideen weiterentwickeln und ihre eigenen Arbeitsergebnisse vor anderen vertreten.		
<i>Sozialkompetenz</i>			
<i>Selbstständigkeit</i>	Die Studierenden können sich selbstständig Quellen über die Schwerpunkte der Vorlesung erschließen und das darin enthaltene Wissen aneignen sowie im Rahmen weiterführender Forschungsaktivitäten nutzbar machen.		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	45 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Elektrotechnik: Kernqualifikation: Pflicht Energietechnik: Vertiefung Energiesysteme: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L1696: Elektrische Energiesysteme II: Betrieb und Informationssysteme elektrischer Energienetze	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Christian Becker
Sprachen	DE
Zeitraum	WiSe
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Stationäre Modellierung elektrischer Energiesysteme <ul style="list-style-type: none"> ◦ konventionelle Komponenten ◦ leistungselektronische Netzregler (FACTS) und HGÜ ◦ Netzmodellierung • Netzbetrieb <ul style="list-style-type: none"> ◦ Prozess der elektrischen Energieversorgung ◦ Netz-/Systemführung ◦ Netzbereitstellung • Netzleittechnik und Netzleitsysteme <ul style="list-style-type: none"> ◦ Informations- und Kommunikationstechnik elektrischer Energiesysteme ◦ IT-Architekturen der Stations-, Feld- und Netzleitebene ◦ IT-Integration (Energemarkt / Engpassmanagement / Asset Management) ◦ Entwicklungstrends in der Leittechnik ◦ Smart Grids • Funktionen und stationäre Berechnungen für den Netzbetrieb <ul style="list-style-type: none"> ◦ Lastflussberechnungsmethoden ◦ Sensitivitätsanalyse und Lastflusssteuerung ◦ Sensitivitätsanalyse ◦ Betriebsoptimierung ◦ Symmetrische Kurzschlussberechnung ◦ Unsymmetrische Fehlerstromberechnung <ul style="list-style-type: none"> ▪ symmetrische Komponenten ▪ Berechnung unsymmetrischer Fehler ◦ Netzzustandsabschätzung
Literatur	E. Handschin: Elektrische Energieübertragungssysteme, Hüthig Verlag B. R. Oswald: Berechnung von Drehstromnetzen, Springer-Vieweg Verlag V. Crastan: Elektrische Energieversorgung Bd. 1 & 3, Springer Verlag E.-G. Tietze: Netzleittechnik Bd. 1 & 2, VDE-Verlag

Lehrveranstaltung L1697: Elektrische Energiesysteme II: Betrieb und Informationssysteme elektrischer Energienetze	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 32, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Christian Becker
Sprachen	DE
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<p><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.</p> <p>The students are familiar with the contents of lecture and tutorials. They can explain and apply them to new problems.</p> <p><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.</p> <p>Personale Kompetenzen</p> <p><i>Sozialkompetenz</i> The students can jointly solve specific problems.</p> <p><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.</p>		
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	<ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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)

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bit error rate performance of LDPC codes <ul style="list-style-type: none"> ▪ Repeat accumulate codes and variants of repeat accumulate codes ▪ Message passing decoding and turbo decoding of repeat accumulate codes ○ Convolutional codes <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 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	<p>Bossert, M.: Kanalcodierung. Oldenbourg.</p> <p>Friedrichs, B.: Kanalcodierung. Springer.</p> <p>Lin, S., Costello, D.: Error Control Coding. Prentice Hall.</p> <p>Roth, R.: Introduction to Coding Theory.</p> <p>Johnson, S.: Iterative Error Correction. Cambridge.</p> <p>Richardson, T., Urbanke, R.: Modern Coding Theory. Cambridge University Press.</p> <p>Gallager, R. G.: Information theory and reliable communication. Wiley-VCH</p> <p>Cover, T., Thomas, J.: Elements of information theory. Wiley.</p>
------------------	--

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 M1666: Intelligente Systeme Projekt			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Intelligente Systeme Projekt (L2709)		Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung	6 6
Modulverantwortlicher	Prof. Alexander Schlaefer		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	Sehr gute Programmierkenntnisse Gute Mathematikkenntnisse Vorkenntnisse maschinelles Lernen sehr wünschenswert Vorkenntnisse Bildverarbeitung / Computer Vision hilfreich Intelligente Systeme Projekt - Gruppendiskussion Vorkenntnisse Mikroprozessorprogrammierung hilfreich		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	Die Studierenden können Aspekte intelligenter Systeme erklären (z.B. Autonomie, Erfassung von Umgebungsinformationen, Interaktion mit der Umgebung) sowie die Bezüge zu Ki / Robotik / maschinellem Lernen / Computer Vision einordnen.		
<i>Wissen</i>			
Fertigkeiten	Die Studierenden können ein komplexes Anwendungsszenario analysieren und Methoden der künstlichen Intelligenz (vor allem Robotik, maschinelles Lernen, Computer Vision) nutzen, um ein intelligentes System zu implementieren. Weiterhin können die Studierenden Kriterien zur Bewertung der Funktion des Systems definieren und das System evaluieren.		
<i>Fertigkeiten</i>			
Personale Kompetenzen	Die Studierenden können in Gruppen Projektziele konzipieren und den Projektablauf organisieren. Sie können Ihre Ergebnisse in geeigneter Weise präsentieren.		
<i>Sozialkompetenz</i>			
Selbstständigkeit	Die Studierenden verantworten selbstständig eine Teilaufgabe innerhalb der Projektgruppe und können die Bearbeitung ihrer Aufgaben mit anderen Gruppenmitgliedern koordinieren. Sie liefern termingerecht Ihre Arbeiten ab. Sie können sich selbstständig zusätzliches Wissen durch Literaturrecherche erschließen.		
<i>Selbstständigkeit</i>			
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 96, Präsenzstudium 84		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Verpflichtend	Bonus	Art der Studienleistung Beschreibung
	Ja	Keiner	Gruppendiskussion
Prüfung	Schriftliche Ausarbeitung		
Prüfungsdauer und -umfang	ca. 8 Seiten, Bearbeitungszeit: semesterbegleitend		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung II. Ingenieurwissenschaften: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2709: Intelligente Systeme Projekt	
Typ	Projekt-/problembasierte Lehrveranstaltung
SWS	6
LP	6
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 96, Präsenzstudium 84
Dozenten	Prof. Alexander Schlaefer
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Das Projektthema wird gemeinsam im Rahmen der Veranstaltung ausgewählt.
Literatur	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben.

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	<p>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.</p> <p>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.</p>		
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	<ul style="list-style-type: none"> • From Rule-Based Systems to Machine Learning <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ Variants of neural networks ◦ MLP ◦ Conv. neural networks ◦ Recurrent neural networks ◦ Training neural networks ◦ (Stochastic) Gradient Descent • Regression vs. Classification <ul style="list-style-type: none"> ◦ Classification as supervised learning problem ◦ Hands-On Session • Representation Learning and Generative Models <ul style="list-style-type: none"> ◦ AutoEncoders ◦ Directed Generative Models ◦ Undirected Generative Models ◦ Generative Adversarial Neural Networks • Probabilistic Graphical Models <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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	<ul style="list-style-type: none"> • Supervised Learning Application - Channel Coding <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ Recap wireless modulation schemes ◦ Convolutional neuronal networks for blind detection of modulation schemes ◦ Hands-on session • Autoencoder Application - Constellation Shaping I <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ Training without a channel model ◦ Mutual information neural estimator ◦ Hands-on session • Generative Adversarial Network Application - Channel Modelling <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ Recap time-varying channel models ◦ Recurrent neural networks for temporal prediction ◦ Hands-on session
Literatur	

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	<ul style="list-style-type: none"> • 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	<p><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.</p> <p>The students are familiar with the contents of lecture and tutorials. They can explain and apply them to new problems.</p> <p><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.</p> <p>Personale Kompetenzen</p> <p><i>Sozialkompetenz</i> The students can jointly solve specific problems.</p> <p><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.</p>		
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	<ul style="list-style-type: none"> • Transforms of discrete-time signals: <ul style="list-style-type: none"> ◦ 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 <ul style="list-style-type: none"> ◦ MMSE criterion ◦ Wiener Filter ◦ LMS- and RLS-algorithm • Traditional and parametric methods of spectrum estimation
Literatur	<p>K.-D. Kammeyer, K. Krochel: Digitale Signalverarbeitung. Vieweg Teubner.</p> <p>V. Oppenheim, R. W. Schaffer, J. R. Buck: Zeitdiskrete Signalverarbeitung. Pearson StudiumA. V.</p> <p>W. Hess: Digitale Filter. Teubner.</p> <p>Oppenheim, R. W. Schaffer: Digital signal processing. Prentice Hall.</p> <p>S. Haykin: Adaptive filter theory.</p> <p>L. B. Jackson: Digital filters and signal processing. Kluwer.</p> <p>T.W. Parks, C.S. Burrus: Digital filter design. Wiley.</p>

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

Fachmodule der Vertiefung III. Mathematik

Modul M1428: Lineare und Nichtlineare Optimierung

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Lineare und Nichtlineare Optimierung (L2062)	Vorlesung	4	4
Lineare und Nichtlineare Optimierung (L2063)	Hörsaalübung	1	2

Modulverantwortlicher	Prof. Matthias Mnich
------------------------------	----------------------

Zulassungsvoraussetzungen	Keine
----------------------------------	-------

Empfohlene Vorkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Diskrete Algebraische Strukturen • Mathematik I • Graphentheorie und Optimierung
---------------------------------	--

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

Fachkompetenz	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende können die grundlegenden Begriffe der Linearen und Nichtlinearen Optimierung benennen und anhand von Beispielen erklären. • Studierende sind in der Lage, logische Zusammenhänge zwischen diesen Konzepten zu diskutieren und anhand von Beispielen zu erläutern. • Sie kennen Beweisstrategien und können diese wiedergeben.
<i>Wissen</i>	
<i>Fertigkeiten</i>	
Personale Kompetenzen	
<i>Sozialkompetenz</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende können Aufgabenstellungen der Linearen und Nichtlinearen Optimierung mit Hilfe der kennengelernten Konzepte mathematisch modellieren und mit den erlernten Methoden lösen. • Studierende sind in der Lage, sich weitere einfache logische Zusammenhänge zwischen den kennengelernten Konzepten selbstständig zu erschließen und können diese verifizieren. • Studierende können zu gegebenen Problemstellungen einen geeigneten Lösungsansatz entwickeln, diesen verfolgen und die Ergebnisse kritisch auswerten.
<i>Selbstständigkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende sind in der Lage, in heterogen zusammengestellten Teams (mit unterschiedlichem mathematischen Hintergrundwissen und aus unterschiedlichen Studiengängen) zusammenzuarbeiten und die Mathematik als gemeinsame Sprache zu entdecken und beherrschen. • Sie können sich dabei insbesondere gegenseitig neue Konzepte erklären und anhand von Beispielen das Verständnis der Mitstudierenden überprüfen und vertiefen.
	<ul style="list-style-type: none"> • Studierende können eigenständig ihr Verständnis mathematischer Konzepte überprüfen, noch offene Fragen auf den Punkt bringen und sich gegebenenfalls gezielt Hilfe holen. • Studierende haben eine genügend hohe Ausdauer entwickelt, um auch über längere Zeiträume an schwierigen Problemstellungen zu arbeiten.

Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 110, Präsenzstudium 70
----------------------------------	-------------------------------------

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

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

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

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

Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht
---	---

Lehrveranstaltung L2062: Lineare und Nichtlineare Optimierung	
Typ	Vorlesung
SWS	4
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 64, Präsenzstudium 56
Dozenten	Prof. Matthias Mnich
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Modellierung mit Hilfe von linearen Programmen • Lösung durch die graphische Methode • Algebraisches Hintergrundwissen • Konvexität • Polyeder • Simplex-Algorithmus • Degeneriertheit und Konvergenz • Dualität • Innere-Punkte Methoden • Quadratische Optimierung
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • A. Schrijver: Combinatorial Optimization: Polyhedra and Efficiency. Springer, 2003 • B. Korte and T. Vygen: Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. Springer, 2018 • T. Cormen, Ch. Leiserson, R. Rivest, C. Stein: Introduction to Algorithms. MIT Press, 2013

Lehrveranstaltung L2063: Lineare und Nichtlineare Optimierung	
Typ	Hörsaalübung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Matthias Mnich
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0881: Mathematische Bildverarbeitung			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Mathematische Bildverarbeitung (L0991)	Vorlesung	3	4
Mathematische Bildverarbeitung (L0992)	Gruppenübung	1	2
Modulverantwortlicher	Prof. Marko Lindner		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis: partielle Ableitungen, Gradient, Richtungsableitung • Lineare Algebra: Eigenwerte, lineares Ausgleichsproblem 		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<p><i>Wissen</i> Die Studierenden können</p> <ul style="list-style-type: none"> • Klassen von Diffusionsgleichungen charakterisieren und vergleichen • elementare Methoden der Bildverarbeitung erklären • Methoden zur Segmentierung und Registrierung erläutern • funktionalanalytische Grundlagen skizzieren und gegenüberstellen <p><i>Fertigkeiten</i> Die Studierenden können</p> <ul style="list-style-type: none"> • elementare Methoden der Bildverarbeitung implementieren und anwenden • moderne Methoden der Bildverarbeitung erklären und anwenden 		
Personale Kompetenzen	<p><i>Sozialkompetenz</i> Studierende können in heterogen zusammengesetzten Teams (d.h. aus unterschiedlichen Studiengängen und mit unterschiedlichem Hintergrundwissen) zusammenarbeiten und sich theoretische Grundlagen erklären.</p> <p><i>Selbstständigkeit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Studierende können eigenständig ihr Verständnis mathematischer Konzepte überprüfen, noch offene Fragen auf den Punkt bringen und sich gegebenenfalls gezielt Hilfe holen. • Studierende haben eine genügend hohe Ausdauer entwickelt, um auch über längere Zeiträume an schwierigen Problemstellungen zu arbeiten. 		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	20 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Bioverfahrenstechnik: Vertiefung A - Allgemeine Bioverfahrenstechnik: Wahlpflicht Computer Science: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht Interdisciplinary Mathematics: Vertiefung III. Computational Methods in Biomedical Imaging: Pflicht Mechatronics: Technischer Ergänzungskurs: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Systementwurf: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Intelligente Systeme und Robotik: Wahlpflicht Technomathematik: Vertiefung I. Mathematik: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht Verfahrenstechnik: Vertiefung Allgemeine Verfahrenstechnik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0991: Mathematische Bildverarbeitung	
Typ	Vorlesung
SWS	3
LP	4
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 78, Präsenzstudium 42
Dozenten	Prof. Marko Lindner
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> • Elementare Methoden der Bildverarbeitung • Glättungsfilter • Grundlagen der Diffusions- bzw. Wärmeleitgleichung • Variationsformulierungen in der Bildverarbeitung • Kantenerkennung • Entfaltung • Inpainting • Segmentierung • Registrierung
Literatur	Bredies/Lorenz: Mathematische Bildverarbeitung

Lehrveranstaltung L0992: Mathematische Bildverarbeitung	
Typ	Gruppenübung
SWS	1
LP	2
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 46, Präsenzstudium 14
Dozenten	Prof. Marko Lindner
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1405: Randomisierte Algorithmen und Zufällige Graphen			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Randomisierte Algorithmen und Zufällige Graphen (L2010)	Vorlesung	2	3
Randomisierte Algorithmen und Zufällige Graphen (L2011)	Hörsaalübung	2	3
Modulverantwortlicher	Prof. Anusch Taraz		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Algorithmen und Datenstrukturen • Mathematik I und II • Stochastik • Graphentheorie 		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz <i>Wissen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Students can describe basic concepts in the area of Randomized Algorithms and Random Graphs such as random walks, tail bounds, fingerprinting and algebraic techniques, first and second moment methods, and various random graph models. They are able to explain them using appropriate examples. • Students can discuss logical connections between these concepts. They are capable of illustrating these connections with the help of examples. • They know proof strategies and can apply them. 		
<i>Fertigkeiten</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Students can model problems with the help of the concepts studied in this course. Moreover, they are capable of solving them by applying established methods. • Students are able to explore and verify further logical connections between the concepts studied in the course. • For a given problem, the students can develop and execute a suitable technique, and are able to critically evaluate the results. 		
Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Students are able to work together in teams. They are capable to establish a common language. • In doing so, they can communicate new concepts according to the needs of their cooperating partners. Moreover, they can design examples to check and deepen the understanding of their peers. 		
<i>Selbstständigkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Students are capable of checking their understanding of complex concepts on their own. They can specify open questions precisely and know where to get help in solving them. • Students have developed sufficient persistence to be able to work for longer periods in a goal-oriented manner on hard problems. 		
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 III. Mathematik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2010: Randomisierte Algorithmen und Zufällige Graphen	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Anusch Taraz, Prof. Volker Turau
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	<p>Randomized Algorithms:</p> <ul style="list-style-type: none"> • introduction and recalling basic tools from probability • randomized search • random walks • text search with fingerprinting • parallel and distributed algorithms • online algorithms <p>Random Graphs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • typical properties • first and second moment method • tail bounds • thresholds and phase transitions • probabilistic method • models for complex networks
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • Motwani, Raghavan: Randomized Algorithms • Worsch: Randomisierte Algorithmen • Dietzfelbinger: Randomisierte Algorithmen • Bollobas: Random Graphs • Alon, Spencer: The Probabilistic Method • Frieze, Karonski: Random Graphs • van der Hofstad: Random Graphs and Complex Networks

Lehrveranstaltung L2011: Randomisierte Algorithmen und Zufällige Graphen	
Typ	Hörsaalübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Anusch Taraz, Prof. Volker Turau
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M0711: Numerische Mathematik II			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Numerische Mathematik II (L0568)		Vorlesung	2 3
Numerische Mathematik II (L0569)		Gruppenübung	2 3
Modulverantwortlicher	Prof. Sabine Le Borne		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Numerische Mathematik I • Python-Kenntnisse 		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<p><i>Wissen</i> Studierende können</p> <ul style="list-style-type: none"> • weiterführende numerische Verfahren zur Interpolation, Approximation, Integration, Lösung von Eigenwertaufgaben, Lösung von Eigenwertproblemen und nichtlinearen Nullstellenproblemen benennen und deren Kernideen erläutern, • Konvergenzbeweise skizzieren, • Aspekte der praktischen Durchführung numerischer Verfahren im Hinblick auf Rechenzeit und Speicherbedarf erklären. • Konvergenzaussagen zu den numerischen Methoden wiedergeben <p><i>Fertigkeiten</i> Studierende sind in der Lage,</p> <ul style="list-style-type: none"> • vertiefende numerische Methoden in Python zu implementieren, anzuwenden und zu vergleichen, • das Konvergenzverhalten numerischer Methoden in Abhängigkeit vom gestellten Problem und des verwendeten Lösungsalgorithmus zu begründen und auf verwandte Problemstellungen zu übertragen • zu gegebener Problemstellung einen geeigneten Lösungsansatz zu entwickeln, gegebenenfalls durch Zusammensetzen mehrerer Algorithmen, diesen durchzuführen und die Ergebnisse kritisch auszuwerten. 		
Personale Kompetenzen	<p><i>Sozialkompetenz</i> Studierende können</p> <ul style="list-style-type: none"> • in heterogen zusammengesetzten Teams (d.h. aus unterschiedlichen Studiengängen und mit unterschiedlichem Hintergrundwissen) zusammenarbeiten, sich theoretische Grundlagen erklären sowie bei praktischen Implementierungsaspekten der Algorithmen unterstützen. <p><i>Selbstständigkeit</i> Studierende sind fähig,</p> <ul style="list-style-type: none"> • selbst einzuschätzen, ob sie die begleitenden theoretischen und praktischen Übungsaufgaben besser allein oder im Team lösen, • ihren Lernstand konkret zu beurteilen und gegebenenfalls gezielt Fragen zu stellen und Hilfe zu suchen. 		
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 124, Präsenzstudium 56		
Leistungspunkte	6		
Studienleistung	Keine		
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	25 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht Technomathematik: Vertiefung I. Mathematik: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Kernqualifikation: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L0568: Numerische Mathematik II	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sabine Le Borne, Dr. Jens-Peter Zemke
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fehler und Stabilität: Begriffe und Abschätzungen 2. Rationale Interpolation und Approximation 3. Mehrdimensionale Interpolation (RBF) und Approximation (neuronale Netze) 4. Quadratur: Gauß-Quadratur, Orthogonalpolynome 5. Lineare Systeme: Perturbationstheorie von Zerlegungen, strukturierte Matrizen 6. Eigenwertaufgaben: LR-, QD-, QR-Algorithmus 7. Nichtlineare Gleichungssysteme: Newton- und Quasi-Newton-Verfahren, Liniensuche (optional) 8. Krylovraum-Verfahren: Arnoldi-, Lanczos-Verfahren (optional)
Literatur	<ul style="list-style-type: none"> • Skript • Stoer/Bulirsch: Numerische Mathematik 1, Springer • Dahmen, Reusken: Numerik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer

Lehrveranstaltung L0569: Numerische Mathematik II	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Prof. Sabine Le Borne, Dr. Jens-Peter Zemke
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	SoSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Modul M1552: Fortgeschrittenes maschinelles Lernen			
Lehrveranstaltungen			
Titel		Typ	SWS LP
Fortgeschrittenes maschinelles Lernen (L2322)		Vorlesung	2 3
Fortgeschrittenes maschinelles Lernen (L2323)		Gruppenübung	2 3
Modulverantwortlicher	Dr. Jens-Peter Zemke		
Zulassungsvoraussetzungen	Keine		
Empfohlene Vorkenntnisse	1. Mathematik I-III 2. Numerische Mathematik 1/ Numerik 3. Programmierkenntnisse, bestenfalls in Python		
Modulziele/ angestrebte Lernergebnisse	Nach erfolgreicher Teilnahme haben die Studierenden die folgenden Lernergebnisse erreicht		
Fachkompetenz	<p><i>Wissen</i> Studierende können die mathematischen Grundlagen verschiedener neuronaler Netze benennen, wiedergeben, neuronale Netze klassifizieren und hinsichtlich der Schwierigkeiten bewerten.</p> <p><i>Fertigkeiten</i> Studierende können neuronale Netze implementieren, verstehen und gezielt sowie an die Problemstellung angepasst anwenden.</p> <p>Personale Kompetenzen</p> <p><i>Sozialkompetenz</i> Studierende können</p> <ul style="list-style-type: none"> • in kleinen Gruppen Lösungen erarbeiten und dokumentieren; • in Gruppen Ideen weiterentwickeln und auf anderen Kontext übertragen; • im Team eine Software-Bibliothek entwickeln, aufbauen und weiterentwickeln. <p><i>Selbstständigkeit</i> Studierende sind fähig</p> <ul style="list-style-type: none"> • den Aufwand und Umfang selbst definierter Aufgaben korrekt einzuschätzen; • selbst einzuschätzen, ob sie die begleitenden theoretischen und praktischen Übungsaufgaben besser allein oder im Team lösen; • sich eigenständig Aufgaben zum Test und zum Ausbau der Verfahren auszudenken; • ihren Lernstand konkret zu beurteilen und gegebenenfalls gezielt Fragen zu stellen und Hilfe zu suchen. 		
Arbeitsaufwand in Stunden			
Leistungspunkte			
Studienleistung			
Prüfung	Mündliche Prüfung		
Prüfungsdauer und -umfang	25 min		
Zuordnung zu folgenden Curricula	Computer Science: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung III. Mathematik: Wahlpflicht Mechatronics: Vertiefung Intelligente Systeme und Robotik: Wahlpflicht Mechatronics: Technischer Ergänzungskurs: Wahlpflicht Technomathematik: Vertiefung I. Mathematik: Wahlpflicht Theoretischer Maschinenbau: Vertiefung Robotik und Informatik: Wahlpflicht		

Lehrveranstaltung L2322: Fortgeschrittenes maschinelles Lernen	
Typ	Vorlesung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dr. Jens-Peter Zemke
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	<ol style="list-style-type: none"> 1. Grundlagen: Analogie, Aufbau neuronaler Netze, universelle Approximationseigenschaft, NP-Vollständigkeit 2. Feedforward-Netze: Backpropagation, Varianten des stochastischen Gradientenverfahrens 3. Deep Learning: Probleme und Lösungsstrategien 4. Deep Belief Networks: Energie-basierte Modelle, Contrastive Divergence 5. Faltungsnetze: Idee, Aufbau, FFT und Algorithmen von Winograd, Implementationsdetails 6. Rekurrente Netze: Idee, dynamische Systeme, Training, LSTM 7. Residuale Netze: Idee, Verbindung zu neuronalen ODEs 8. Standardbibliotheken: Tensorflow, Keras, PyTorch 9. Neue Trends
Literatur	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skript 2. Online-Werke: <ul style="list-style-type: none"> ◦ http://neuralnetworksanddeeplearning.com/ ◦ https://www.deeplearningbook.org/

Lehrveranstaltung L2323: Fortgeschrittenes maschinelles Lernen	
Typ	Gruppenübung
SWS	2
LP	3
Arbeitsaufwand in Stunden	Eigenstudium 62, Präsenzstudium 28
Dozenten	Dr. Jens-Peter Zemke
Sprachen	DE/EN
Zeitraum	WiSe
Inhalt	Siehe korrespondierende Vorlesung
Literatur	Siehe korrespondierende Vorlesung

Fachmodule der Vertiefung IV. Fachspezifische Fokussierung

Modul M1434: Technischer Ergänzungskurs I für IIW

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Modulverantwortlicher	Prof. Görschwin Fey		
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	Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung IV. Fachspezifische Fokussierung: Wahlpflicht		

Modul M1435: Technischer Ergänzungskurs II für IIW			
Lehrveranstaltungen			
Titel	Typ	SWS	LP
Modulverantwortlicher	Prof. Görschwin Fey		
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	Informatik-Ingenieurwesen: Vertiefung IV. Fachspezifische Fokussierung: Wahlpflicht		

Thesis

Modul M-002: Masterarbeit

Lehrveranstaltungen

Titel	Typ	SWS	LP
Modulverantwortlicher	Professoren der TUHH		
Zulassungsvoraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> 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> <i>Fertigkeiten</i> Personale Kompetenzen <i>Sozialkompetenz</i> <i>Selbstständigkeit</i>	<ul style="list-style-type: none"> 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. 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. Studierende können <ul style="list-style-type: none"> 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. Studierende sind fähig, <ul style="list-style-type: none"> 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 Digitaler Journalismus: 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
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