UNIVERSITÄT PASSAU

Fakultät für Informatik und Mathematik

Modulkatalog M.Sc. Informatik
Module Descriptions M.Sc. Computer Science



Inklusive der Beschlüsse des Prüfungsausschusses der Fakultät für Informatik und Mathematik der Universität Passau am 12. August 2025

Contains all decisions of the Board of Examiners of the Faculty of Computer Science and Mathematics of the University of Passau taken up to 12 August 2025

Stand: 13. Oktober 2025

Last revised: October 13, 2025

Abkürzungsverzeichnis und Wörterbuch / List of abbreviations and dictionary

Abkürzung / Abbreviation	**Deutsch**	**English**
AllgBer	Allgemeiner Bereich	General Area
AlgMath	Algorithmik und Mathematische Modellierung	Algorithmics and Mathematical Modeling
B.Sc.	Bachelor of Science	Bachelor of Science
IC	Internet Computing	Internet Computing
Inf.	Informatik	Computer Science
InfKomm	Informations- und Kommunikationssysteme	Information and Communication Systems
ITS	Intelligente Technische Systeme	Intelligent Technical Systems
IT-SecRel	IT Security and Reliability	IT Security and Reliability
M.Sc.	Master of Science	Master of Science
P	Praktikum	Lab/practicum
Pf	Pflichtfach	Compulsory course
PN	Prüfungsnummer	Examination number
PO	Prüfungsordnung	Examination regulations
ProgSoft	Programmierung und Softwaresysteme	Programming and Software Systems
Sem.	Semester	Semester
SP	Schwerpunkt	Focus
Ü	Übung	Exercise/Tutorial
V	Vorlesung	Lecture
Wahl	Wahlmodul	Elective (module)
WPf	Wahlpflichtmodul	Compulsory elective (module)

Bemerkung: Falls wenigstens ein nicht-deutschsprachiger Hörer die Veranstaltung besucht und als Sprache „Deutsch oder Englisch“ angegeben ist, wird in der Regel auf Englisch unterrichtet.
Remark: If at least one non-German speaker attends and the language of instruction is stated as “German or English” the language of instruction will be English as a rule.

Für Übersichtslisten zur Anrechenbarkeit und Modulgruppenzuordnung siehe
`http://www.fim.uni-passau.de/studium/anrechenbarkeit/`
For reference tables, please go to
`http://www.fim.uni-passau.de/en/study/acceptability-for-credit-transfers/`

Präambel

Workload-Berechnung:
Die Zuordnung von Leistungspunkten geht von der Arbeitsbelastung eines oder einer durchschnittlichen Studierenden aus. Ein Leistungspunkt entspricht in diesem Rahmen ca. 30 Arbeitsstunden. Dieser Durchschnitt wird im vorliegenden Studiengang einheitlich für alle Fächer und Lehrveranstaltungstypen angenommen.
Prüfende:
Prüferinnen und Prüfer sind die Professoren und Professorinnen sowie alle habilitierten Dozentinnen und Dozenten und ggf. weitere gemäß Hochschulprüferverordnung (HSchPrüferV) Befugte, die durch den Prüfungsausschuss der Fakultät für Informatik und Mathematik bestellt werden. Bitte beachten Sie hierzu die Bekanntmachungen des Prüfungsausschusses auf den Webseiten der Fakultät.
Anwesenheitspflicht:
Die Anwesenheitspflicht ist in der „Allgemeinen Studien- und Prüfungsordnung (AStuPO)“ im § 18 geregelt. Die Notwendigkeit der Anwesenheitspflicht ist für einzelne Lehrveranstaltungen im vorliegenden Modulkatalog festgelegt und entsprechend begründet.
Wiederholungsmöglichkeit:
Jedes mit „nicht ausreichend“ (Note schlechter als 4,0) bzw. „nicht bestanden“ bewertete Modul kann höchstens zweimal wiederholt werden, siehe § 9 AStuPO. Die Wiederholung muss innerhalb eines Jahres erfolgen. Eine Wiederholung von Prüfungen zur Notenverbesserung ist nicht möglich.
Gesamtnotenrelevanz:
Die Gesamtnote wird gemäß § 22 AStuPO berechnet.
Seminare:
In der Regel bieten Lehrstühle, Professorinnen und Professoren regelmäßig Seminare an. Hierzu beachten Sie bitte die Seminar-Ankündigungen auf den Webseiten der Lehrstühle und Professuren.
Qualifikationsprofil:
Die Erfüllung des Qualifikationsprofils des Studiengangs wird durch die verschiedenen Veranstaltungstypen gewährleistet.

- **Vorlesungen** fokussieren sich maßgeblich auf Vermittlung von Wissen und Verstehen der Problemstellungen. Dadurch erwerben Absolventen und Absolventinnen Fachkompetenz in der Breite und Tiefe des Faches. Besonders in den Masterstudiengängen werden zusätzlich Lehrmeinungen, Grenzen und kritisches Verständnis auf dem neuesten Stand der Forschung gelehrt.

- **Vorlesungsbegleitende Übungen** vertiefen dieses Wissen, und leiten zu Einsatz und praktischer Anwendung an. Die Studierenden lernen dabei Probleme zu analysieren, kritisch einzuordnen und geeignete Lösungswege zu finden. Darüber hinaus werden Kommunikation und Kooperation zwischen den Studierenden eingeübt.

- **Selbstständige Übungen und Praktika** lehren die Nutzung und den Transfer auf praktische Anwendungen und Projekte. Dabei lernen die Studierenden situationsadäquat und reflektiert professionelle Entscheidungen zu treffen.

- In **Seminaren** und **Abschlussarbeiten** planen und recherchieren die Studierenden. Sie entwickeln und bearbeiten aktuelle Forschungsfragen, wählen geeignete Analysemethoden und reflektieren die erzielten Ergebnisse kritisch. Dadurch tragen sie auch zur wissenschaftlichen Innovation bei. Darüber hinaus üben sie die Kommunikation von erzielten Ergebnissen an Dritte ein.

Preamble

Workload calculation:
The assignment of credit points is based on the workload of an average student. In this context, one credit point corresponds to approx. 30 working hours. This average generally applies to all subjects and course types in the present degree programme.
Examiners:
Examiners are the professors and all habilitated lecturers and, if applicable, other authorised persons according to the Higher Education Examination Ordinance (Hochschulprüferverordnung, HSch-PrüferV), who are appointed by the Board of Examiners of the Faculty of Computer Science and Mathematics. Please refer to the announcements of the Board of Examiners on the Faculty's website.
Compulsory attendance:
Compulsory attendance is regulated in § 18 of the "General Study and Examination Regulations (AStuPO)". The necessity of compulsory attendance is specified for individual courses in this module catalogue and justified accordingly.
Possibility of repetition:
Each module assessed as "insufficient" (grade below 4.0) or "failed" can be repeated a maximum of two times, cf. § 9 AStuPO). The repetition must take place within one year. It is not possible to repeat examinations for grade improvement.
Overall grade relevance:
The final grade is calculated according to § 22 AStuPO.
Seminars:
Chairs and professors usually offer seminars on a regular basis. Please pay attention to the seminar announcements on the websites of the chairs and professorships.
Qualification profile:
The fulfilment of the qualification profile of the degree programme is ensured by the different types of courses.

- **Lectures** focus primarily on imparting knowledge and understanding problems. Consequently, graduates acquire professional competence in the breadth and depth of the subject. Particularly in master's programmes, schools of thought, limitations and critical understanding are additionally taught at the cutting edge of research.
- **Exercises accompanying lectures** deepen this knowledge and guide students to use and apply it in practice. Students learn to analyse problems, to classify them critically and to find suitable solutions. In addition, communication and cooperation between students are practised.
- **Independent exercises and practical courses** teach the use and transfer to practical applications and projects. In the process, students learn to make professional decisions in an appropriate and reflective manner.
- In **seminars** and **theses**, students plan and conduct research. They develop and work on contemporary research questions, select suitable methods of analysis and critically reflect on the results. That way, they also contribute to scientific innovation. In addition, they practise communicating the results to third parties.

Modulübersicht des Masterstudiengangs „Informatik“ / Overview of the course program

Module Group “Algorithmics and Mathematical Modeling“ (AlgMath)

Module	Exam. Number	Contact Hours	ECTS	Professor	English/ German
Efficient Algorithms	455366	3V+2Ü	7	Rutter, Sudholt	English/ German
Computational Logic	455357	3V+2Ü	7	Kreuzer	English/ German
Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs	455414	2V+2Ü	6	Rutter	English
Algorithms for Graph Visualization	455352	2V+1Ü	5	Rutter	English/ German
Parameterized Algorithms	455413	2V+2Ü	6	Rutter	English/ German
Introduction to Topological Data Analysis	482115	3V+2Ü	7	Rutter	English/ German
Optimierung	471765	4V+2Ü	9	Harks	English/ German
Introduction to Numerical Analysis	401814	4V+2Ü	9	Sauer	German
Generalized Function Theory	455360	4V+2Ü	9	Forster-Heinlein	English/ German
Computer Algebra	455358	4V+2Ü	9	Kreuzer, Sauer	English/ German
Computational Algebraic Geometry	405154	4V+2Ü	9	Kreuzer	English/ German
Cryptography	401816	4V+2Ü	9	Kreuzer, Zumbrägel	English/ German
Coding Theory	463030	3V+2Ü	7	Kreuzer	English/ German
Stochastic Simulation	451017	3V+1Ü	7	Müller-Gronbach	English/ German
Probability Theory	455341	4V+2Ü	9	Müller-Gronbach	English/ German
Computational Stochastic Processes	451402	2V+2Ü	6	Müller-Gronbach	English/ German
Stochastic Analysis	405214	4V+2Ü	9	Müller-Gronbach	English/ German
Cryptanalysis	482102	4V+2Ü	9	Zumbrägel	English

Algebra and Number Theory I	405149	4V+2Ü	9	Kaiser, Kreuzer, Zumbrägel	German
Rings and Modules	455364	4V+2Ü	9	Zumbrägel	English
Elliptic Curves	422120	4V+2Ü	9	Zumbrägel	English
Information Theory	455440	4V+2Ü	9	Zumbrägel	English
Commutative Algebra	455387	2V+2Ü	6	Kreuzer	English
Operator Theory	401403	4V+2Ü	9	Forster-Heinlein	English/ German
Theory of Evolutionary Computation	455399	3V+2Ü	7	Sudholt	English/ German
Randomised Algorithms	455388	3V+2Ü	7	Sudholt	English
Algorithms under Uncertainty	471980	2V+2Ü	6	Sudholt	English
Partial Differential Equations	405167	3V+2Ü	7	Wirth	English
Symbolic Dynamics and Coding	405212	4V+2Ü	9	Wirth	English
Numerics of Differential Equations	451012	4V+2Ü	9	Wirth	English/ German
Dynamical Systems	405027	4V+2Ü	9	Wirth	English/ German
Stochastic Partial Differentioal Equations	405245	4V	7	Müller-Gronbach	English/ German
Numerik der Polynom- und rationalen Approximation	485383	2V+1Ü	5	Forster-Heinlein	English/ German
Markovketten	456346	4V+2Ü	9	Müller-Gronbach	English/ German
Mathematical Logic	455362	4V+2Ü	9	Kaiser, Müller	English
Mathematische Statistik	451013	3V+1Ü	6	Müller-Gronbach	English/ German
Model Theory	482201	4V+2Ü	9	Kaiser, Müller	English
Numerical Methods for Stochastic Differential Equations	451004	3V+1Ü	6	Müller-Gronbach	English/ German
Graph and Network Algorithms Lab	451005	3Ü	6	Rutter	English
Integral Transforms	451007	2V+2Ü	6	Forster-Heinlein	English/ German
Perkolation auf Graphen	451018	2V+1Ü	5	Müller-Gronbach	English/ German
Markov Chain Monte Carlo	455450	4V+2Ü	9	Rudolf	English/ German
Foundations of Statistical Data Science	482522	4V+2Ü	9	Rudolf	English/ German

Stochastic Processes	405193	4V+2Ü	9	Rudolf	English/ German
Computational Game Theory	472690	4V+2Ü	9	Harks	English
Distributed Algorithms	422150	2V+2Ü	6	Harks	English
Dynamic Network Flows	422160	2V+2Ü	6	Harks	English
Computational Geometry	405125	2V+2Ü	6	Harks	English
Classical Limit Theorems & Large Deviations	451019	4V+2Ü	9	Prochno	English/ German
Introduction to Information-based Complexity and Compressed Sensing	485384	3V+1Ü	6	Prochno	English
Introduction to Approximation Theory	455460	2V+1Ü	5	Prochno	English/ German
Convex Geometry and Applications to Linear Programming	472730	3V+1Ü	6	Prochno	English
Random Graphs	422140	2V+2Ü	6	Glock	English
Combinatorial Number Theory	455560	4V+2Ü	9	Glock	English
Exemplary and Effective Programming	413152	1V+3P	6	Abbott	English
Computational Complexity Theory	482211	4V+2Ü	9	Müller	English
Advanced Computational Complexity Theory	472710	2V+2Ü	6	Müller	English
Constraint Satisfaction Problems	472720	2V+2Ü	6	Müller	English
Advanced Model Theory	455470	2V+2Ü	6	Kaiser, Müller	English
Online and Approximation Algorithms	455480	2V+2Ü	6	Harks	English
Stochastic Processes on Graphs and Groups	455490	4V+2Ü	9	Müller-Gronbach	English/ German
Maß- und Integrationstheorie	455510	4V+2Ü	9	Müller-Gronbach, Prochno, Rudolf	German
Research Seminar for the Focus "Algorithmics and Mathematical Modeling"	451010	2S	5	All lecturers	English/ German

Module Group "Programming and Software Systems" (ProgSoft)

Module	Exam. Number	Contact Hours	ECTS	Professor	English/ German
AI-Driven Software Development	455320	2Ü	5	Fraser	English
Practical Parallel Programming	455371	3V+2Ü	7	Fraser	English/ German
Dependence Analysis	453401	2V+2Ü	6	Griebl, Fraser	English/ German
Loop Parallelisation	405285	2V+2Ü	6	Griebl, Fraser	English/ German
Struktur und Implementierung von Programmiersprachen	405010	3V+2Ü	7	Größlinger	German
Functional Programming	405053	2V+2Ü	6	Griebl, Fraser	English/ German
Virtual Machines and Runtime Systems	405197	2V+2Ü	6	Größlinger	English/ German
Domain-Specific Languages	405204	2V+2Ü	6	Größlinger	English/ German
Programming Styles	455377	2V+1Ü	5	Fraser	English
Software Analysis	455368	2V+2Ü	6	Fraser	English
Advanced Software Product Development	455317	2Ü+4P	10	Fraser	German
Search-Based Software Engineering	455378	2V+2Ü	6	Fraser	English
Mobile Security	455411	2V+2Ü	6	Hammer	English
Software Process Engineering	455369	2V+2Ü	6	Kuhrmann	English
Program Repair	455407	2V+2Ü	6	Hammer	English
Reverse and Reengineering	455418	2V+2Ü	6	Hammer	English
Empirical Methods for Software Engineering	455375	2V+2Ü	6	Kuhrmann	English
Programming Paradigms	455435	2V+2Ü	6	Hammer	English
Secure Information Flow	455384	2V+2Ü	6	Hammer	English
Object-Oriented Programming with C++	453002	2V+2Ü	6	Hammer	English
Compiler Construction	455402	4V+2Ü	9	Hammer	English
Engineering Dependable Software	455424	2V+2Ü	6	Hammer	English
Software Engineering Research Reproduction	455425	6Ü	12	Hammer	English
Software-Projektmanagement	405016	3V+1Ü	7	Palm	German
Principles of AI Engineering	455410	2V+2Ü	6	Herbold	English

Requirements Engineering	455412	2V+2Ü	6	Herbold	English
Mining Software Repositories Lab	455423	5Ü	7	Herbold	English
Mining Software Repositories	455433	2V+2Ü	6	Herbold	English
AI Engineering Lab	455437	5Ü	7	Herbold	English
Industrial Prototyping for Makers	455540	4P	6	Fraser, Kosch	English
Prototyping & Programming	455430	4Ü	6	Fraser, Kosch	German
Compiler Construction Lab	455422	6Ü	9	Hammer	English
Research Seminar for the Focus "Programming and Software Systems"	453010	2S	5	All lecturers	English/ German

Module Group "Information and Communication Systems" (InfKomm)

Module	**Exam. Number**	**Contact Hours**	**ECTS**	**Professor**	**English/ German**
Foundations of Energy Systems	455361	2V+2Ü	6	de Meer	English
Computer Performance Evaluation	462401	2V+2Ü	6	de Meer	English/ German
Safety and Security of Critical Infrastructures	451006	2V+2Ü	6	de Meer	English/ German
Methodological Foundations of Distributed Systems	405236	2V+2Ü	6	de Meer	English
Energy Informatics II	455416	2V+2Ü	6	de Meer	English
Multimedia Databases	405031	3V+2Ü	7	Kosch	English
Data Modelling and Data Processing in the Internet of Things	455386	2V+1Ü	5	Kosch	English
Implementation of Database Systems	405069	3V+2Ü	7	Kosch	English/ German
Privacy-Preservation Technologies in Information Systems	472215	2V+1Ü	5	Kosch	English
Mixed Reality	405216	2V+1Ü	5	Grubert	English/ German
Spatial Augmented Reality	405215	3P	5	Grubert	English/ German
Programming Applications for Mobile Interaction	405026	3V+2Ü	7	Kranz	English/ German
Network Science	482601	2V+1Ü	5	Granitzer	English
Advanced Topics in Data Science	482603	2V+1Ü	5	Granitzer	English
Scaling Database Systems	451016	2V+2Ü	6	Scherzinger	English
Reproducibility Engineering	455420	2V+2Ü	6	Scherzinger	English

Preference-based Information Retrieval	455365	2V+2Ü	6	Endres	English/ German
Big Data Management	455374	2V+2Ü	6	Endres	English/ German
Ideation & Prototyping for Industrial Innovation	479551	3Ü	5	Kranz	English/ German
Science and Technology Project in Physical Making, Prototyping and Testing	455342	8P	8	Kranz	English
Multimedia Retrieval	455383	2V+2Ü	6	Scherzinger	English
Digital Healthcare	455409	2V+2Ü	6	Kranz	English/ German
Computational Social Science Lab	455391	4Ü	6	Lemmerich	English
Introduction to Deep Learning	471616	2V+2Ü	6	Lemmerich	English
Applied Artificial Intelligence Lab	471615	4Ü	6	Lemmerich	English
Computational Linguistics	455396	2V+2Ü	6	Hautli-Janisz	English
Computational Linguistics Shared Task Lab	472810	4Ü	6	Hautli-Janisz	English
Principles of AI Engineering	455410	2V+2Ü	6	Herbold	English
Deep Learning for Natural Language and Code	472700	2V+2Ü	6	Herbold	English
Cooperative Autonomous Vehicles	455393	2V+2Ü	6	Vinel	English
Energy Informatics I	455415	2V+2Ü	6	de Meer	English
Data on the Web	455417	2V+2Ü	6	Scherzinger	English
Principles of Data Organisation	472740	2V+2Ü	6	Scherzinger	English
Semantic Data Integration	473270	2V+2Ü	6	Algergawy	English
Management of Scientific Data	472780	2V+2Ü	6	Algergawy	English
Modern Database Systems	472770	2V+2Ü	6	Scherzinger	English
Industrial Prototyping for Makers	455540	4P	6	Fraser, Kosch	English
Research Seminar for the Focus “Information and Communication Systems“	452010	2S	5	All lecturers	English/ German

Module Group "Intelligent Technical Systems" (ITS)

Module	Exam. Number	Contact Hours	ECTS	Professor	English/ German
Ideals in Numerical Applications	455363	4V+2Ü	9	Sauer	English/ German
Wavelets	471870	4V+2Ü	9	Sauer	English
Mathematical Foundations of Machine Learning	455394	4V+2Ü	9	Sauer	English/ German
Continued Fractions	456354	4V+2Ü	9	Sauer	English
Geometric Modeling Project	455355	4V+2Ü	9	Sauer	English/ German
Constructive Approximation	405244	4V+2Ü	9	Sauer	English/ German
Fourier and Laplace Transforms	451405	4V+2Ü	9	Forster-Heinlein	English/ German
Context Recognition Architectures	405237	2V+1Ü	5	Kranz	English
Scientific Methods and Technical Writing	479810	2V+1Ü	5	Kranz	English/ German
Mobile Human-Computer Interaction	479510	3V+2Ü	8	Kranz	English/ German
Randomised Algorithms	455388	3V+2Ü	7	Sudholt	English
Design and Implementation of Search Engines	455370	4V	6	Krestel	English/ German
Deep Learning	455380	2V+2Ü	6	Krestel	English
Partial Differential Equations	405167	3V+2Ü	7	Wirth	English
Mathematical Systems Theory	482401	4V+2Ü	9	Wirth	English/ German
Advanced Imaging	454020	2V+2Ü	6	Sauer	English
Embedded Systems Programming	479610	4P	7	Kranz	English/ German
ITS Practical	405235	6S	9	Forster-Heinlein, Sauer, Wirth	English
Perkolation auf Graphen	451018	2V+1Ü	5	Müller-Gronbach	English/ German
Introduction to Deep Learning	471616	2V+2Ü	6	Lemmerich	English
Applied Artificial Intelligence Lab	471615	4Ü	6	Lemmerich	English
Responsible Machine Learning	471617	2V+2Ü	6	Lemmerich	English
Statistical Learning Theory	465520	2V+1Ü	5	Rudolf	English/ German
Computational Linguistics	455396	2V+2Ü	6	Hautli-Janisz	English

Computational Linguistics Shared Task Lab	472810	4Ü	6	Hautli-Janisz	English
Security of Computer and Embedded Systems	455385	2V+1Ü	5	Kavun	English
Digital Design with Verilog-HDL on FPGA	455408	3Ü	5	Kavun	English
Complex Dynamic Networks	471515	2V+1Ü	5	Schönlein	English
Cooperative Autonomous Vehicles	455393	2V+2Ü	6	Vinel	English
Data Visualization	471760	2V+2Ü	6	Heinzl	English
Immersive Analytics	455560	2V+2Ü	6	Heinzl	English
Project in Visual Computing	455419	2Ü+2P	6	Heinzl	English
Integral Transforms and Computed Tomography	482301	4V+2Ü	9	Sauer	English
Machine Learning Control and Optimization	455398	4V+2Ü	9	Wirth	English
Approximate Dynamic Programming (Reinforcement Learning)	266194	2V+2Ü	5	Otto	English
Practical Course: Advanced Topics in Management Science	266502	2Ü	3	Otto	English
Sustainable Supply Chain Management	265770	2V	5	Otto	English
Research Seminar for the Focus “Intelligent Technical Systems“	454010	2S	5	All lecturers	English/ German

Module Group “IT-Security and Reliability“ (IT-SecRel)

Module	**Exam. Number**	**Contact Hours**	**ECTS**	**Professor**	**English/ German**
System Security	405143	2V+1Ü	5	Posegga	English/ German
Safety and Security of Critical Infrastructures	451006	2V+2Ü	6	de Meer	English/ German
Secure Computation	455372	2V+2Ü	6	Katzenbeisser	English
Advanced Security Engineering Lab	455345	6SWS	12	Katzenbeisser	English/ German
Hardware-Oriented Security	455381	2V+2Ü	6	Katzenbeisser	English
Eisenbahnsicherungstechnik	451008	2V	3	Katzenbeisser	English/ German
Cryptography	401816	4V+2Ü	9	Kreuzer, Zumbrägel	English/ German
Advanced IT Security	405390	3V+1Ü	6	Posegga	English/ German

Wireless Security	405157	2V+1Ü	5	Posegga	English/ German
Security Insider Lab II - System and Application Security	453402	6Ü	12	Posegga	English/ German
Security Insider Lab I - Infrastructure Security	455002	6Ü	12	Posegga	English/ German
Cloud Security	455359	2V+2Ü	6	Reiser	English/ German
Cryptanalysis	482102	4V+2Ü	9	Zumbrägel	English
Secure Information Flow	455384	2V+2Ü	6	Hammer	English
Dependable Distributed Systems	455403	2V+2Ü	6	Reiser	English/ German
Privacy Enhancing Techniques	405223	2V	3	Posegga	English
Resilient Internet-of-Things Infrastructures	455389	2V+2Ü	6	Reiser	English/ German
Hypervisor Design and Implementation	451015	2V+2Ü	6	Reiser	English/ German
Security of AI Systems	451011	2V	3	Posegga	English
Formal Methods in Security: Modelling and Analysis of Security-critical Systems	451014	2V+1Ü	4	Posegga	English
Security of Computer and Embedded Systems	455385	2V+1Ü	5	Kavun	English
Security Processor Design	455392	2V+1Ü	5	Kavun	English
Digital Design with Verilog-HDL on FPGA	455408	3Ü	5	Kavun	English
Implementation of Cryptograhic Schemes	422170	2V+1Ü	5	Kavun	English
IoT Security: Security Solutions for the Internet of Things	455520	2V	3	Katzenbeisser	English
Research Seminar for the Focus “IT-Security and Reliability“	455010	2S	5	All lecturers	English/ German

Module Group "General Area" (AllgBer)

Module	Exam. Number	Contact Hours	ECTS	Professor	English/ German
Modeling and Control of Complex Systems	405129	3V+2Ü	7	de Meer	English/ German
Functional Safety	455404	2V+2Ü	6	de Meer	English/ German
Ordinary Differential Equations	401817	4V+2Ü	9	Forster-Heinlein, Wirth	German
Functional Analysis	451404	4V+2Ü	9	Prochno	English/ German
Statistical Data Analysis	405187	4V+2Ü	9	Müller-Gronbach	English/ German
IT Security Law	222431	2V	5	Schröder, von Lewinski	German
Wavelet-Based Methods in Image Processing	405222	2V+2Ü	6	Forster-Heinlein	German
Camera Calibration and 3-D Reconstruction	455395	2V	3	Hanning	German
Introduction to Microelectronics: From Silicon to Computer Components	455530	2V	3	Katzenbeisser	English
Entrepreneurship Development Programme	568320		10	Granitzer	English
Internship	407680		4	All lecturers	English/ German

Module Group "Compulsory Modules"

Module	Exam. Number	Contact Hours	ECTS	Professor	English/ German
Seminar	450001	2S	5	All lecturers	English/ German
Presentation of the Master's Thesis	458999		3	All lecturers	English/ German
Master's Thesis in Computer Science	459900		27	All lecturers	English/ German

Hinweise:
Für das Bestehen der Masterprüfung gemäß § 9 Abs. 2 AStuPO sind nach § 6 Satz 1 FStuPO folgende Pflicht- und Wahlpflichtmodule zu absolvieren und insgesamt **mindestens 120 ECTS-Leistungspunkte** zu erwerben:

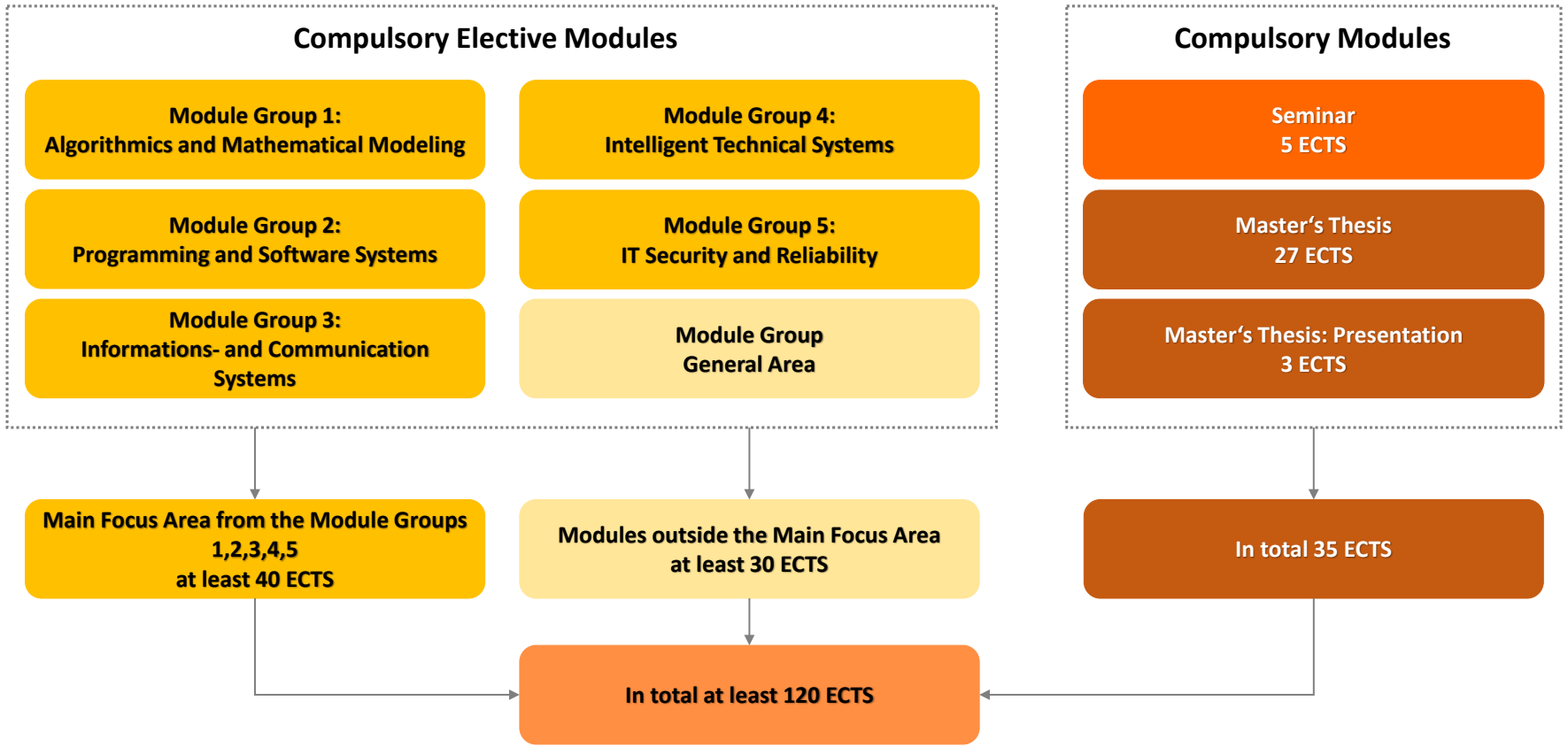
i. Die **Module des Pflichtbereichs** gemäß obiger Liste,
ii. in einer Schwerpunktmodulgruppe aus den Modulgruppen **Algorithmik und Mathematische Modellierung**, **Programmierung und Softwaresysteme**, **Informations- und Kommunikationssysteme**, **Intelligente Technische Systeme**, **IT-Security and Reliability mindestens 40 ECTS-Leistungspunkte**,
iii. aus den anderen Schwerpunktmodulgruppen und der Modulgruppe **Allgemeiner Bereich mindestens 30 ECTS-Leistungspunkte**.

Note:
For passing the Master's examination (see AStuPO § 9 paragraph 2 and FStuPO § 6 sentence 1) the following compulsory and compulsory elective modules must be passed and **in total at least 120 credit points** must be achieved:

i. The **compulsory modules** (see list above),
ii. one focus module group from the module groups **Algorithmics and Mathematical Modeling**, **Programming and Software Systems**, **Informations- and Communication Systems**, **Intelligent Technical Systems**, **IT-Security and Reliability at least 40 credit points**,
iii. **at least 30 ECTS credit points** from the other focus module groups and the module group **General Area**.

Für Übersichtslisten zur Anrechenbarkeit und Modulgruppenzuordnung siehe
`http://www.fim.uni-passau.de/studium/anrechenbarkeit/`
For reference tables see
`http://www.fim.uni-passau.de/en/study/acceptability-for-credit-transfers/`

Baukasten für M.Sc. Informatik / Building Blocks for M.Sc. Computer Science



Note AStuPO § 9 paragraph 3 sentence 1) and 2)

[1] By the end of the first semester, proof of successful completion of module examinations totaling at least 20 ECTS credits must be submitted.

[2] If this requirement is not met, a total of at least 30 ECTS credits must be demonstrated by the end of the second semester at the latest.

Aus dem modularen Baukastensystem ergeben sich verschiedene Möglichkeiten für einen Studienverlauf, je nach Interessen und Präferenz der Studierenden. Unten angeführt sind zwei Beispielstudienverläufe, der erste mit (leichterem) Schwerpunkt auf Informations- und Kommunikationssysteme, während der zweite einen starken Schwerpunkt auf IT-Sicherheit und einen „Nebenschwerpunkt“ auf Informations- und Kommunikationssysteme legt.

Die beispielhaften Studienverlaufspläne berücksichtigen weitgehend die empfohlenen Voraussetzungen gemäß der Modulbeschreibungen und illustrieren daher auch, wie die Module aufeinander aufgebaut sind.

The modular concept allows for various study plan designs, depending on students' interests and preferences. In the tables below, there are two sample study plans: one with a (weaker) focus on Information and Communication Systems; the other one with a strong focus on IT Security and Reliability and a „secondary“ focus on Information and Communication Systems.

The sample study plans largely reflect skills recommended in the module descriptions and illustrate how some modules are sequenced upon one another.

Beispielverlaufsplan mit Schwerpunkt Informations- und Kommunikationssysteme (Module *kursiv* dargestellt) mit 42 ECTS-LP
Sample study plan with a focus on Information and Communication Systems (modules *italicised*) with 42 ECTS points

1. Fachsemester			
	Foundations of Energy Systems	2V+2Ü	6
	Scaling Database Systems	2V+2Ü	6
	Advanced Topics in Data Science	2V+1Ü	5
	Efficient Algorithms	3V+2Ü	7
	Advanced IT-Security	3V+1Ü	6
	Summe ECTS-LP 1. Fachsemester:		**30**
2. Fachsemester			
	Energy Informatics II	2V+2Ü	6
	Multimedia Databases	3V+2Ü	7
	Hardware-Oriented Security	2V+2Ü	6
	System Security	2V+1Ü	5
	Computational Linguistics	2V+2Ü	6
	Summe ECTS-LP 2. Fachsemester:		**30**
3. Fachsemester			
	Computer Performance Evaluation	2V+2Ü	6
	Data Science Lab	4Ü	6
	Computer Algebra	4V+2Ü	9
	Masterseminar	2S	5
	Praktikum		4
	Summe ECTS-LP 3. Fachsemester:		**30**
4. Fachsemester			
	Masterarbeit		27
	Präsentation		3
	Summe ECTS-LP 4. Fachsemester:		**30**
Gesamt ECTS-LP			**120**

Beispielverlaufsplan mit Schwerpunkt IT-Security and Reliability (Module *kursiv* dargestellt) mit 52 ECTS-LP
Sample study plan with a focus on IT Security and Reliability (modules *italicised*) with 52 ECTS points

1. Fachsemester			
	Advanced IT Security	3V+1Ü	6
	Safety and Security of Critical Infrastructures	2V+2Ü	6
	Scaling Database Systems	2V+2Ü	6
	Foundations of Energy Systems	2V+2Ü	6
	Data on the Web	2V+2Ü	6
	Summe ECTS-LP 1. Fachsemester:		**30**
2. Fachsemester			
	Cryptography	4V+2Ü	9
	Secure Information Flow	2V+2Ü	6
	System Security	2V+1Ü	5
	Advanced Topics in Data Science	2V+1Ü	5
	Computational Linguistics	2V+2Ü	6
	Summe ECTS-LP 2. Fachsemester:		**31**
3. Fachsemester			
	Wireless Security	2V+1Ü	5
	Privacy Enhancing Techniques	2V	3
	Security Insider Lab I – Infrastructure Security	6Ü	12
	Data Science Lab	4Ü	6
	Masterseminar	2S	5
	Summe ECTS-LP 3. Fachsemester:		**31**
4. Fachsemester			
	Masterarbeit		27
	Präsentation		3
	Summe ECTS-LP 4. Fachsemester:		**30**
Gesamt ECTS-LP			**122**



International Cooperation Agreement on the Implementation of the Joint Study Programme Computer Science - Software and Data Engineering leading to the issuance of a double degree - Overview of the course program -

Compulsory courses

Charles University			
Module	**Exam. Number**	**ECTS**	**English**
Introduction to Complexity and Computability	NTIN090	4	English
Data Structures 1	NTIN066	6	English
Diplom Thesis I	NSZZ023	6	English
Diplom Thesis II	NSZZ024	9	English
Diplom Thesis III	NSZZ025	15	English
International Research Project	NPRG081	6	English

Note: Detailed information about the courses can be found at `https://www.mff.cuni.cz/en/students/master-of-computer-science/2020-or-later/software-and-data-engineering`

University of Passau			
Module	**Exam. Number**	**ECTS**	**English/ German**
Seminar	450001	5	English
Presentation of the Master's Thesis	458999	3	English
Master's Thesis in Computer Science	459900	27	English

Equivalent compulsory courses

Charles University			University of Passau		
Module	**Exam. Number**	**ECTS**	**Module**	**Exam. Number**	**ECTS**
Introduction to Complexity and Computability*	NTIN090	4	Computational Complexity Theory*	482211	9
Diploma Thesis I Diploma Thesis II Diploma Thesis III	NSZZ023 NSZZ024 NSZZ025	6 +9 +15	Master's Thesis in Computer Science Presentation of the Master's Thesis	459900 458999	27+3

* These courses can only be taken either at the home university or at the partner university. They cannot be taken at both universities.

Note: Detailed information about the courses can be found at `https://www.mff.cuni.cz/en/students/master-of-computer-science/2020-or-later/software-and-data-engineering`

Compulsory elective courses

Charles University				
Module	**Exam. Number**	**ECTS**	**Module Group**	**English**
Web Services	NSWI145	5	InfKomm	English
Data on the Web	NSWI144	5	InfKomm	English
Multimedia Retrieval	NDBI034	4	InfKomm	English
Modern Database Systems	NDBI040	5	InfKomm	English
Data Visualization Techniques	NDBI042	4	InfKomm	English
Deep Learning	NPFL114	7	InfKomm	English
Data Mining	NDBI023	5	InfKomm	English
Transactions	NDBI016	3	InfKomm	English
Query Languages 1	NDBI001	5	InfKomm	English
Query Languages 2	NDBI006	5	InfKomm	English
User prefernces	NDBI021	4	InfKomm	English
Web Services	NSWI145	5	InfKomm	English
Middleware	NSWI080	4	InfKomm	English
System Behaviour Models and Verification	NSWI101	5	InfKomm	English
Performance Evaluation of Computer Systems	NSWI131	4	InfKomm	English
Introduction to recommend, systems and user preferences	NSWI166	4	InfKomm	English

Concepts of Modern Programming Languages	NPRG014	4	ProgSoft	English
Advanced Tools for SW Development and Monitorring	NSWI126	2	ProgSoft	English
Advanced Programming in Parallel Environment	NPRG058	6	ProgSoft	English
Advanced Programming of Web Applications	NSWI153	5	ProgSoft	English
Software System Architectures	NSWI130	5	ProgSoft	English
Formal Foundations of Software Engineering	NTIN043	5	ProgSoft	English

Note: Detailed information about the courses can be found at `https://www.mff.cuni.cz/en/students/master-of-computer-science/2020-or-later/software-and-data-engineering`

University of Passau				
Module	**Exam. Number**	**ECTS**	**Module Group**	**English/ German**
Practical Parallel Programming	455371	7	ProgSoft	English/ German
Dependence Analysis	453401	6	ProgSoft	English/ German
Loop Parallelisation	405285	6	ProgSoft	English/ German
Functional Programming	405053	6	ProgSoft	English/ German
Virtual Machines and Runtime Systems	405197	6	ProgSoft	English/ German
Domain-Specific Languages	405204	6	ProgSoft	English/ German
Software Analysis	455368	6	ProgSoft	English
Advanced Software Product Development	455317	10	ProgSoft	German
Search-Based Software Engineering	455378	6	ProgSoft	English
Mobile Security	455411	6	ProgSoft	English
Program Repair	455407	6	ProgSoft	English
Reverse and Reengineering	455418	6	ProgSoft	English
Secure Information Flow	455384	6	ProgSoft	English
Object-Oriented Programming with C++	453002	6	ProgSoft	English
Compiler Construction	455402	9	ProgSoft	English
Engineering Dependable Software	455424	6	ProgSoft	English

Software-Projektmanagement	405016	7	ProgSoft	German
Principles of AI Engineering	455410	6	ProgSoft, InfKomm	English
Requirements Engineering	455412	6	ProgSoft	English
Research Seminar for the Focus "Programming Methods and Software Systems"	453010	5	ProgSoft	English/ German
Foundations of Energy Systems	455361	6	InfKomm	English
Safety and Security of Critical Infrastructures	451006	6	InfKomm	English/ German
Methodological Foundations of Distributed Systems	405236	6	InfKomm	English
Multimedia Databases	405031	7	InfKomm	English
Data Modelling and Data Processing in the Internet of Things	455386	5	InfKomm	English
Privacy-Preservation Technologies in Information Systems	472215	5	InfKomm	English
Data Science Lab	482604	6	InfKomm	English
Advanced Topics in Data Science	482603	5	InfKomm	English
Scaling Database Systems	451016	6	InfKomm	English
Reproducibility Engineering	455420	6	InfKomm	English
Introduction to Deep Learning	471616	6	InfKomm	English
Applied Artificial Intelligence Lab	471615	6	InfKomm	English
Computational Linguistics	455396	6	InfKomm	English
Research Seminar for the Focus "Information and Communication Systems"	452010	5	InfKomm	English/ German

Equivalent compulsory elective courses

Charles University			University of Passau		
Module	**Exam. Number**	**ECTS**	**Module**	**Exam. Number**	**ECTS**
Program Analysis and Code Verification	NSWI132	5	Introduction to Deep Learning	471616	6
Programming in C++	NPRG041	5	Object-Oriented Programming with C++	453002	6
Compiler Principles	NSWI098	6	Compiler Construction	455402	9
Data Science	NDBI048	5	Data Science Lab	482604	9
Deep Learning	NPFL114	7	Software Analysis	455368	6

Note: Detailed information about the courses can be found at `https://www.mff.cuni.cz/en/students/master-of-computer-science/2020-or-later/software-and-data-engineering`

The minimum requirements for ECTS credits are as follows:

- **Comon rules:**
  - At least 120 ECTS credits in total.
  - At least 45 ECTS credits to advance to the second year.
  - At least 30 ECTS credits (excluding the ECTS credits for the Diploma thesis) from courses of each partner.
- **Rule of the University of Passau:**
  - At least 40 ECTS credits of ProgSoft courses and at least 30 ECTS credits for courses outside ProgSoft (excluding the ECTS credits for the Diploma thesis),
    or
  - at least 40 ECTS credits for InfKomm courses and at least 30 ECTS credits for courses outside InfKomm (excluding the ECTS credits for the Diploma thesis).
- **Rule of Charles University:**
  - At least 50 ECTS credits for the compulsory elective courses (i.e., ProgSoft and InfKomm courses).

Joint Study Programme: Sample Study Plan

(start of studies at the University of Passau)

University of Passau: 1st year - winter semester		
	Seminar	5
	Reproducibility Engineering	6
	Research Seminar for the Focus "Programming Methods and Software Systems"	5
	Search-Based Software Engineering	6
	Reverse and Reengineering	6
	TOTAL ECTS Credits	**28**
University of Passau: 1st year - summer semester		
	Safety and Security of Critical Infrastructure	6
	Methodological Foundations of Distributed Systems	6
	Multimedia Databas	7
	Software Analysis	6
	Engineering Dependable Software	6
	TOTAL ECTS Credits	**31**
Charles University: 2nd year - winter semester		
	Introduction to Complexity and Computability	4
	International Research Project	6
	Diploma Thesis I	6
	Introduction to recommend, systems and user preferences	4
	Software System Architectures	5
	Formal Foundations of Software Engineering	5
	TOTAL ECTS Credits	**30**
Charles University: 2nd year - summer semester		
	Data Structures 1	6
	Diploma Thesis II	9
	Diploma Thesis III	15
	Advanced Tools for SW Development and Monitoring	2
	TOTAL ECTS Credits	**32**

Inhaltsverzeichnis

Baukasten für M.Sc. Informatik / Building Blocks for M.Sc. Computer Science **16**

Beispielverlaufsplan mit Schwerpunkt Informations- und Kommunikationssysteme
Sample study plan with a focus on Information and Communication Systems **18**

Beispielverlaufsplan mit Schwerpunkt IT-Security and Reliability
Sample study plan with a focus on IT-Security and Reliability **19**

Joint Study Programme: M.Sc. Computer Science - Software and Data Engineering **20**

Joint Study Programme: Sample Study Plan **25**

5487 AI-Driven Software Development PN 455320 36

5600 Effiziente Algorithmen PN 455366
Efficient Algorithms 40

5610 Praktische Parallelprogrammierung PN 455371
Practical Parallel Programming 43

5614 Abhängigkeitsanalyse PN 453401
Dependence Analysis 46

5616 Schleifenparallelisierung PN 405285
Loop Parallelisation 49

5622 Software-Sicherheit PN 405143
System Security 52

5670 Logik für Informatiker PN 455357
Computational Logic 55

5710 Algorithmische Graphentheorie und perfekte Graphen PN 455414
Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs 58

5712 Algorithmen zur Visualisierung von Graphen PN 455352
Algorithms for Graph Visualization 61

5713 Parametrisierte Algorithmen PN 455413
Parameterized Algorithms 64

5715 Einführung in die Topologische Datenanalyse PN 482115
Introduction to Topological Data Analysis 66

5720 Modellierung und Beherrschung komplexer Systeme PN 405129
Modeling and Control of Complex Systems 69

5721	**Foundations of Energy Systems**	**PN 455361**	**72**
5722	**Funktionale Sicherheit** **Functional Safety**	**PN 455404**	**75**
5723	**Computer Performance Evaluation**	**PN 462401**	**78**
5724	**Safety and Security of Critical Infrastructures**	**PN 451006**	**81**
5725	**Methodological Foundations of Distributed Systems**	**PN 405236**	**84**
5727	**Energy Informatics II**	**PN 455416**	**87**
5730	**Optimierung**	**PN 471765**	**90**
5731	**Einführung in die Numerik** **Introduction to Numerical Analysis**	**PN 401814**	**93**
5732	**Ideals in Numerical Applications**	**PN 455363**	**96**
5733	**Wavelets**	**PN 471870**	**98**
5734	**Mathematical Foundations of Machine Learning**	**PN 455394**	**100**
5736	**Kettenbrüche** **Continued Fractions**	**PN 456354**	**103**
5739	**Geometric Modeling Project**	**PN 455355**	**106**
5750	**Gewöhnliche Differentialgleichungen** **Ordinary Differential Equations**	**PN 401817**	**108**
5753	**Distributionentheorie** **Generalized Function Theory**	**PN 455360**	**110**
5754	**Constructive Approximation**	**PN 405244**	**113**
5756	**Funktionalanalysis** **Functional Analysis**	**PN 451404**	**115**
5757	**Fourier- und Laplace-Transformation** **Fourier and Laplace Transforms**	**PN 451405**	**118**
5762	**Sicheres Rechnen** **Secure Computation**	**PN 455372**	**121**
5764	**Advanced Security Engineering Lab**	**PN 455345**	**124**
5767	**Hardware-basierte Sicherheit** **Hardware-Oriented Security**	**PN 455381**	**128**
5768	**Eisenbahnsicherungstechnik**	**PN 451008**	**131**

5771 Multimedia-Datenbanken PN 405031
Multimedia Databases 133

5772 Data Modelling and Data Processing in the Internet of Things PN 455386 137

5773 Implementierung von Datenbanksystemen PN 405069
Implementation of Database Systems 141

5777 Technologien zur Wahrung der Privatsphäre in Informationssystemen PN 472215
Privacy-Preservation Technologies in Information Systems 145

5780 Computeralgebra PN 455358
Computer Algebra 149

5781 Algorithmische Algebraische Geometrie PN 405154
Computational Algebraic Geometry 152

5782 Kryptographie PN 401816
Cryptography 155

5784 Codierungstheorie PN 463030
Coding Theory 158

5790 Struktur und Implementierung von Programmiersprachen PN 405010 161

5791 Funktionale Programmierung PN 405053
Functional Programming 163

5795 Virtuelle Maschinen und Laufzeitsysteme PN 405197
Virtual Machines and Runtime Systems 166

5796 Domänenspezifische Sprachen PN 405204
Domain-Specific Languages 168

5800 Mixed Reality PN 405216 171

5802 Spatial Augmented Reality PN 405215 175

5803 Context Recognition Architectures PN 405237 179

5804 Scientific Methods and Technical Writing PN 479810 185

5807 Programming Applications for Mobile Interaction PN 405026 188

5809 Mobile Human-Computer Interaction PN 479510 193

5810 Statistische Datenanalyse PN 405187
Statistical Data Analysis 195

5812 Stochastische Simulation PN 451017
Stochastic Simulation 197

5814	**Wahrscheinlichkeitstheorie** **Probability Theory**	**PN 455341** **200**
5815	**Computational Stochastic Processes**	**PN 451402 202**
5818	**Stochastische Analysis** **Stochastic Analysis**	**PN 405214** **205**
5820	**IT-Sicherheit** **Advanced IT Security**	**PN 405390** **207**
5821	**Wireless Security**	**PN 405157 211**
5822	**Security Insider Lab II - System and Application Security**	**PN 453402 215**
5823	**Security Insider Lab I - Infrastructure Security**	**PN 455002 220**
5824	**Cloud Security**	**PN 455359 225**
5831	**Kryptoanalyse** **Cryptanalysis**	**PN 482102** **228**
5832	**Algebra und Zahlentheorie I** **Algebra and Number Theory I**	**PN 405149** **230**
5835	**Ringe und Moduln** **Rings and Modules**	**PN 455364** **232**
5836	**Elliptic Curves**	**PN 422120 234**
5838	**Information Theory**	**PN 455440 236**
5842	**Programming Styles**	**PN 455377 238**
5843	**Software-Analyse** **Software Analysis**	**PN 455368** **241**
5844	**Advanced Software Product Development**	**PN 455317 244**
5845	**Search-Based Software Engineering**	**PN 455378 248**
5850	**Mobile Security**	**PN 455411 251**
5851	**Software Process Engineering**	**PN 455369 254**
5851	**Program Repair**	**PN 455407 257**
5852	**Reverse and Reengineering**	**PN 455418 260**
5853	**Empirische Methoden des Software Engineering** **Empirical Methods for Software Engineering**	**PN 455375** **262**
5853	**Programming Paradigms**	**PN 455435 265**

5854	**Secure Information Flow**	**PN 455384 268**
5855	**Object-Oriented Programming with C++**	**PN 453002 270**
5856	**Compiler Construction**	**PN 455402 272**
5858	**Engineering Dependable Software**	**PN 455424 274**
5859	**Software Engineering Research Reproduction**	**PN 455425 276**
5871	**Commutative Algebra**	**PN 455387 279**
5873	**Operatortheorie** **Operator Theory**	**PN 401403 282**
5874	**IT-Sicherheitsrecht** **IT Security Law**	**PN 222431 284**
5880	**Dependable Distributed Systems**	**PN 455403 287**
5881	**Privacy Enhancing Techniques**	**PN 405223 290**
5882	**Resilient Internet-of-Things Infrastructures**	**PN 455389 294**
5885	**Hypervisor Design and Implementation**	**PN 451015 297**
5891	**Software-Projektmanagement**	**PN 405016 300**
5908	**Wavelet-basierte Methoden in der Bildverarbeitung** **Wavelet-Based Methods in Image Processing**	**PN 405222 303**
5942	**Network Science**	**PN 482601 305**
5945	**Advanced Topics in Data Science**	**PN 482603 308**
5951	**Theory of Evolutionary Computation**	**PN 455399 310**
5952	**Randomisierte Algorithmen** **Randomised Algorithms**	**PN 455388 313**
5953	**Algorithms under Uncertainty**	**PN 471980 316**
5954	**Design and Implementation of Search Engines**	**PN 455370 319**
5956	**Deep Learning**	**PN 455380 322**
5960	**Partielle Differentialgleichungen** **Partial Differential Equations**	**PN 405167 324**
5962	**Symbolische Dynamik und Kodierung** **Symbolic Dynamics and Coding**	**PN 405212 327**

5963 Numerik von Differentialgleichungen PN 451012
Numerics of Differential Equations 329

5964 Dynamische Systeme PN 405027
Dynamical Systems 332

5967 Mathematische Systemtheorie PN 482401
Mathematical Systems Theory 334

5970 Scaling Database Systems PN 451016 337

5972 Reproducibility Engineering PN 455420 340

5982 Preference-based Information Retrieval PN 455365 343

5983 Big Data Management PN 455374 346

5992 Stochastische partielle Differentialgleichungen PN 405245
Stochastic Partial Differentioal Equations 348

5994 Numerik der Polynom- und rationalen Approximation PN 485383 351

5995 Advanced Imaging PN 454020 353

5996 Markovketten PN 456346 355

6001 Ideation & Prototyping for Industrial Innovation PN 479551 357

6003 Science and Technology Project in Physical Making, Prototyping and Testing PN 455342 360

6004 Embedded Systems Programming PN 479610 366

6020 Mathematische Logik PN 455362
Mathematical Logic 370

6021 Mathematische Statistik PN 451013 373

6023 Model Theory PN 482201 375

6029 Numerik stochastischer Differentialgleichungen PN 451004
Numerical Methods for Stochastic Differential Equations 377

6034 Graphen- und Netzwerkalgorithmen Praktikum PN 451005
Graph and Network Algorithms Lab 380

6037 Sicherheit von KI-Systemen PN 451011
Security of AI Systems 383

6039 Formal Methods in Security: Modelling and Analysis of Security-critical Systems PN 451014 387

6040	**Integraltransformationen** **Integral Transforms**	**PN 451007** **392**
6044	**Multimedia Retrieval**	**PN 455383 395**
6047	**Digital Healthcare**	**PN 455409 398**
6053	**ITS-Praktikum** **ITS Practical**	**PN 405235** **401**
6056	**Perkolation auf Graphen**	**PN 451018 405**
6060	**Computational Social Science Lab**	**PN 455391 407**
6061	**Introduction to Deep Learning**	**PN 471616 410**
6063	**Applied Artificial Intelligence Lab**	**PN 471615 413**
6064	**Responsible Machine Learning**	**PN 471617 416**
6070	**Markov Chain Monte Carlo**	**PN 455450 419**
6072	**Foundations of Statistical Data Science**	**PN 482522 421**
6073	**Stochastische Prozesse** **Stochastic Processes**	**PN 405193** **424**
6075	**Statistical Learning Theory**	**PN 465520 426**
6080	**Computational Linguistics**	**PN 455396 428**
6089	**Computational Linguistics Shared Task Lab**	**PN 472810 431**
6090	**Sicherheit von Rechnern und eingebetteten Systemen** **Security of Computer and Embedded Systems**	**PN 455385** **433**
6091	**Sicherheitsprozessor Design** **Security Processor Design**	**PN 455392** **437**
6092	**Digitales Design mit Verilog-HDL auf FPGA** **Digital Design with Verilog-HDL on FPGA**	**PN 455408** **440**
6093	**Implementierung von kryptographischen Verfahren** **Implementation of Cryptographic Schemes**	**PN 422170** **445**
6100	**Computational Game Theory**	**PN 472690 449**
6101	**Komplexe Dynamische Netzwerke** **Complex Dynamic Networks**	**PN 471515** **451**
6103	**Distributed Algorithms**	**PN 422150 454**
6105	**Dynamic Network Flows**	**PN 422160 457**

6106 Computational Geometry PN 405125 459

6111 Klassische Grenzwertsätze & große Abweichungen PN 451019
Classical Limit Theorems & Large Deviations 462

6112 Introduction to Information-based Complexity and Compressed Sensing PN 485384 465

6113 Einführung in die Approximationstheorie PN 455460
Introduction to Approximation Theory 468

6117 Convex Geometry and Applications to Linear Programming PN 472730 471

6120 Principles of AI Engineering PN 455410 474

6121 Requirements Engineering PN 455412 477

6122 Mining Software Repositories Lab PN 455423 481

6123 Deep Learning for Natural Language and Code PN 472700 484

6124 Mining Software Repositories PN 455433 487

6125 AI Engineering Lab PN 455437 490

6132 Random Graphs PN 422140 493

6133 Combinatorial Number Theory PN 455560 495

6140 Exemplary and Effective Programming PN 413152 497

6141 Komplexitätstheorie PN 482211
Computational Complexity Theory 500

6142 Fortgeschrittene Komplexitätstheorie PN 472710
Advanced Computational Complexity Theory 502

6143 Constraint Satisfaction Problems PN 472720 504

6145 Fortgeschrittene Modelltheorie PN 455470
Advanced Model Theory 506

6160 Cooperative Autonomous Vehicles PN 455393 508

6171 Data Visualisierung PN 471760
Data Visualization 510

6172 Immersive Analytics PN 455560 515

6179 Project in Visual Computing PN 455419 519

6195 Integraltransformationen und Computertomographie PN 482301
Integral Transforms and Computed Tomography 521

6200 Kamerakalibrierung und 3D-Rekonstruktion PN 455395
Camera Calibration and 3-D Reconstruction 523

6205 Energy Informatics I PN 455415 525

6206 Data on the Web PN 455417 528

6208 Machine Learning Control and Optimization PN 455398 531

6209 Principles of Data Organisation PN 472740 534

6210 Semantic Data Integration PN 473270 536

6211 Management of Scientific Data PN 472780 539

6212 Modern Database Systems PN 472770 542

6215 Online and Approximation Algorithms PN 455480 545

6217 Stochastische Prozesse auf Graphen und Gruppen PN 455490
Stochastic Processes on Graphs and Groups 547

6218 Maß- und Integrationstheorie PN 455510 549

6219 IoT Security: Security Solutions for the Internet of Things PN 455520 551

6220 Introduction to Microelectronics: From Silicion to Computer Components PN 455530 554

6221 Industrial Prototyping for Makers PN 455540 557

6232 Prototyping & Programming PN 455430 559

6237 Compiler Construction Lab PN 455422 562

32866 Entrepreneurship Development Programme PN 568320 566

39734 Approximate Dynamic Programming (Reinforcement Learning) PN 266194 569

39745 Practical Course: Advanced Topics in Management Science PN 266502 571

39746 Sustainable Supply Chain Management PN 265770 573

Seminar PN 450001 575

Forschungsseminar im Schwerpunkt „AlgMath“ PN 451010
Research Seminar for the Focus “AlgMath“ 577

Forschungsseminar im Schwerpunkt „InfKomm“ PN 452010
Research Seminar for the Focus “InfKomm“ 579

Forschungsseminar im Schwerpunkt „IT-SecRel“ PN 455010
Research Seminar for the Focus “IT-SecRel“ 581

Forschungsseminar im Schwerpunkt „ITS“ **PN 454010**
Research Seminar for the Focus “ITS“ **583**

Forschungsseminar im Schwerpunkt „ProgSoft“ **PN 453010**
Research Seminar for the Focus “ProgSoft“ **585**

Praktikum **PN 407680**
Internship **587**

Präsentation der Masterarbeit Informatik **PN 458999**
Presentation of the Master’s Thesis **591**

Masterarbeit Informatik **PN 459900**
Master’s Thesis in Computer Science **593**

5487	AI-Driven Software Development	PN 455320
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	In der Regel jedes Sommersemester Usually every summer semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser
Dozent(in) Lecturer	Fraser
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“
Lehrform/SWS Contact hours	2Ü
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Nachbearbeitung 30 contact hours + 120 hours independent study
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung I+II, Software Engineering, Software Testing
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden vertiefen ihre Kenntnisse im Software Engineering, indem sie moderne KI-gestützte Werkzeuge und Methoden in die praxisnahen Entwicklung von Softwareprojekten integrieren. Der Schwerpunkt liegt auf der Anwendung von LLMs zur Unterstützung klassischer Software-Engineering-Aufgaben wie Anforderungsanalyse, Prototyping, Codierung, Testautomatisierung und Refactoring. Darüber hinaus lernen

die Studierenden verschiedene Prompting-Strategien und die Unterscheidung zwischen klassischen Informationsabruftechniken und KI-gestützten Ansätzen kennen.

—

Students deepen their knowledge of software engineering by integrating modern AI-driven tools and methods into the practical development of software projects. The focus is on applying LLMs to support classical software engineering tasks such as requirements analysis, prototyping, coding, test automation, and refactoring. Additionally, students learn various prompting strategies and how to differentiate between classical information retrieval techniques and AI-powered approaches.

Fähigkeiten / Abilities

Die Teilnehmer erlernen die Fähigkeit, KI-gestützte Softwareentwicklung effektiv einzusetzen, indem sie LLMs in bestehende Entwicklungsprozesse integrieren. Sie können AI-gestützte Tools nutzen, um Softwaretests zu automatisieren, Codequalität zu verbessern und Entwicklungsprozesse effizienter zu gestalten. Außerdem entwickeln sie ein Verständnis für die Anpassung von LLMs an verschiedene Projektvoraussetzungen und können geeignete Schnittstellen und Workflows gestalten.

—

Participants develop the ability to effectively apply AI-driven software development by integrating LLMs into existing development processes. They can leverage AI-powered tools to automate software testing, improve code quality, and enhance development efficiency. Additionally, they gain an understanding of how to adapt LLMs to different project requirements and design appropriate interfaces and workflows.

Kompetenzen / Competencies

Die Teilnehmer erwerben praxisnahe Kompetenzen in der Entwicklung und Implementierung von Projekten mithilfe von KI-gestützten Softwarelösungen. Sie sind in der Lage, moderne Software-Engineering-Techniken mit LLMs zu kombinieren, um Herausforderungen in Bereichen wie Anforderungsmanagement, Codegenerierung, Qualitätssicherung und automatisierte Tests zu bewältigen. Zudem lernen sie, wie KI-gestützte Entwicklungsansätze strategisch in größere Softwareprojekte integriert werden können, einschließlich der Evaluierung von Kosten-Nutzen-Aspekten und langfristiger Wartbarkeit.

—

	Participants acquire hands-on competencies in developing and implementing projects using AI-driven software solutions. They are able to combine modern software engineering techniques with LLMs to address challenges in areas such as requirements management, code generation, quality assurance, and automated testing. Additionally, they learn how to strategically integrate AI-driven development approaches into larger software projects, including evaluating cost-benefit aspects and long-term maintainability.
Inhalt Course content	The course covers the following topics: • Prompt Engineering • AI Agents for Software Development • Requirements Engineering • Prototyping • AI-Assisted Coding • AI-Driven Testing and Quality Assurance • Refactoring and Code Cleaning • Development Processes and Collaboration — Exercise: Introduction to common software engineering tasks and how AI can support them. Explanation of the projects and requirements for portfolio components as well as questions about the task and the respective solution approaches Independent study: Processing of projects
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben.Mögliche Portfoliobestandteile umfassen: • Dokumentierter und ausführbarer Quellcode der Projektaufgaben • Live-Demonstration der implementierten Softwarelösung • Technischer Bericht über die Nutzung und Erfahrungen mit dem KI-gestützten Prozess • Laufende technische Teilberichte, zusammengefasst in einem abschließenden Gesamtbericht • Präsentation der Arbeit nach jedem Teilabschnitt des Projekts • Verlauf der verwendeten Prompts • Versionshistorie, z. B. mit Git — Portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester. Possible portfolio components include: • Documented and executable source code for project

	tasks • Live demonstration of the implemented software solution • Technical report on the use and experience of the AI-driven process • Ongoing technical sub-reports, compiled into a final comprehensive document • Presentation of work after each sub-part of the project • History of prompts used • Version history, e.g., using Git .
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Wird vom Dozent bekanntgegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5600	Effiziente Algorithmen Efficient Algorithms	PN 455366
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rutter, Sudholt	
Dozent(in) Lecturer	Rutter, Sudholt	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 105 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 105 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen, Theoretische Informatik I Algorithms and Data Structures, Theoretical Computer Science I	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben systematisches Verständnis algorithmischer Entwurfs- und Analysetechniken. Sie kennen weiterführende Algorithmen und Datenstrukturen und deren Ei-	

	genschaften. — The students acquire a systematic understanding of algorithmic design and analysis principles. They know advanced algorithms and data structures and their properties. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden besitzen die Fähigkeit, algorithmische Probleme in verschiedenen Anwendungsgebieten zu identifizieren und zu formalisieren. Die Studierenden können unbekannte Algorithmen eigenständig verstehen, sie anwenden, ihre Laufzeit bestimmen, sie beurteilen und auf verwandte Problemstellungen übertragen. — The students have the ability to identify algorithmic problems in different application areas and to formalize them. They can understand and apply new algorithms on their own. Moreover, they can analyze their running time, evaluate them and adapt them to related problems. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz für gegebene Problemstellungen geeignete Entwurfs- und Analysetechniken auszuwählen und sie zu nutzen um eigene Algorithmen zu entwerfen, diese zu analysieren und ihre Eigenschaften nachzuweisen. — The students have the competence to select appropriate design and analysis techniques for given problems. They can further apply them to develop and analyze new algorithms.
Inhalt Course content	Dieses Modul vertieft die Grundlagen der Algorithmik. Es werden fortgeschrittenen Analyse- und Entwurfstechniken für Algorithmen und Datenstrukturen vorgestellt, (z.B. amortisierte Analyse, dynamische Programmierung, Greedy, Divide & Conquer, Modellierung mit LPs) und deren Anwendung an konkreten Problemstellungen illustriert (z.B. Union-Find, Flussmethoden, Schnitte in Graphen, Spannbäume, Matchings). Darüber hinaus werden Techniken zum Umgang mit NP-schweren Problemen vermittelt. — This module deepens the fundamentals of Algorithms. Advanced design and analysis techniques for algorithms are presented (e.g., amortized analysis, dynamics programming, greedy, divide & conquer, Modeling with LPs) and their application is demonstrated for concrete examples (e.g., union-find, cuts

	and flows in graphs, spanning trees, matchings). Additionally, techniques for handling NP-hard problems are presented.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Zwei Teilleistungen: Teilleistung 1 (80%): Mündliche Prüfung (ca. 25 Minuten) oder Klausur (ca. 90 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters durch Aushang und auf den Internetseiten der Fakultät bekannt gegeben. Teilleistung 2 (20%): Ausarbeitung (bis zu 10 Seiten) über ein Thema der Algorithmik Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. — Examination in two parts: Part 1 (80%): Oral exam (about 25 minuts) or written exam (90 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester. Part 2 (20%): Written work (up to 10 pages) on an Algorithms subject. To pass the examination, both parts have to be passed.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Cormen, Leiserson, Rivest, Stein: Introduction to Algorithms Korte, Vygen: Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms

5610	Praktische Parallelprogrammierung Practical Parallel Programming	PN 455371
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Größlinger	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 85 Std. Übungsaufgaben / Programmierprojekte + 60 Std. Nachbereitung und Eigenstudium 75 contact hours + 85 hours exercises / programming projects + 60 hours independent study	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen mehrere parallele Architekturen und eine Reihe von verschiedenen Ansätzen zur Parallelprogrammierung kennen. Sie werden in die Lage versetzt, für eine vorliegende Problemstellung und parallele Plattform den ge-	

	eigneten Programmieransatz auszuwählen und anzuwenden. Die Studierenden erarbeiten sich das Verständnis eines Forschungspapiers zur Parallelisierung in unterstütztem Selbststudium. — Students will learn several parallel architectures and a number of different approaches to parallel programming. They will be able to choose and apply the appropriate programming approach for the problem and parallel platform. Students aquire comprehension of a research paper on parallelization in assisted self-study. Fähigkeiten / Abilities Die Studieren den beherrschen die Konzepte der Parallelisierung konkreter Anwenderprobleme und können diese für eine ausgewählte Programmiersprache umsetzen. — Students master the concepts of parallelization of specific user problems and implement them for a selected programming language. Kompetenzen / Competencies Absolventen der Veranstaltung sind sich der Vielfalt paralleler Architekturen und Programmierungsansätze sowie den höheren Korrektsheits- und Performanzanforderungen paralleler Programme im Vergleich zu sequenziellen Programmen bewusst. Sie sind mit den Grundlagen der Performanzanalyse von parallelem Programmcode vertraut und haben Einblick in eine aktuelle Methode modellgetriebener Parallelisierung. — Graduates are aware of the diversity of parallel architectures and programming approaches as well as increased demands on the correctness and performance of parallel programs, compared with sequential programs. They are familiar with the basics of performance analysis of parallel program code and see into a current method of model-driven parallelization.
Inhalt Course content	Es werden etwa ein halbes Dutzend verschiedene Paradigmen zur Parallelprogrammierung vorgestellt. Beispiele sind MPI, OpenMP, BSP, High-Performance Fortran und Java. Mindestens drei werden in Programmierprojekten vertieft. Es werden grundlegende Größen und Gesetze paralleler Berechnungen vorgestellt und theoretische Grundkenntnisse in der Spezifikation und Analyse von parallelen Abläufen vermittelt. Die Vor- und Nachteile verschiedener Vernetzungsmuster werden angesprochen. — It will present about a half dozen different paradigms for paral-

	lel programming. Examples include MPI, OpenMP, BSP, High-Performance Fortran and Java. At least three are engrossed in programming projects. It introduces basic sizes and laws of parallel computations and provides theoretical basic knowledge in the specification and analysis of parallel processes. The advantages and disadvantages of various networking patterns are addressed.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Implementierungen (Quellcode) zu mehreren Programmierprojekten mit je etwa 2 bis 3 Wochen Bearbeitungszeit. Implementations (source code) for several programming projects, each with about 2 to 3 weeks processing time.
Medienformen Media used	Beamer, Tafel, Overheadprojektor Projector, blackboard, overhead projector
Literatur Reading list	Foliensätze, Buchauszüge, Forschungspapiere Ian Foster `http://www-fp.mcs.anl.gov/~foster/`: Designing and Building Parallel Programs. Addison-Wesley, 1994. Michael J. Quinn `http://www.cs.orst.edu/~quinn/`: Parallel Programming in C with MPI and OpenMP. McGraw-Hill, 2004.

5614	Abhängigkeitsanalyse Dependence Analysis	PN 453401
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Griebl, Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Griebl, Fraser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I Linear Algebra I	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden wissen, wie in imperativen Programmen, insbesondere in Schleifenprogrammen mit Arrays als zentraler Datenstruktur, Abhängigkeiten entstehen, mit welchen Techniken man diese automatisch exakt finden oder approximie-	

	ren kann und welche Abhängigkeitsarten wie eliminiert werden können. — The students will learn know how dependencies arise In imperative programs, especially in loop programs with arrays as a central data structure and what techniques can automatically find exactly or approximate this and which dependency types can be eliminated. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden haben eine Vorstellung, wie neue, individuell benötigte Programmanalyseverfahren entwickelt und implementiert werden können und sind in der Lage, entsprechende mathematische W erkzeuge sinnvoll einsetzen. — Students will have an idea of how new, individually required program analysis techniques can be developed and implemented and are able to use appropriate mathematical useful tools. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden kennen die Vorzüge der Einführung eines mathematischen Modells in ein (zunächst) nicht-mathematisches Problem. — The students will know the benefits of the introduction of a mathematical model in an (initially) non-mathematical problem
Inhalt Course content	Diese Vorlesung beschäftigt sich damit, in einem imperativen Programm festzustellen, welche (Instanzen von) Anweisungen von welchen anderen abhängig sind. Solche Abhängigkeiten entstehen etwa, weil eine Anweisung ein Array-Element schreibt, das an anderer Stelle wieder gelesen wird. Diese Analyse ist die Grundlage für optimierende und für parallelisierende Compiler, oder auch für Programmverifikation (Slicing) oder Reverse Engineering. Neben verschiedenen Analyse- und Beschreibungstechniken werden in der Vorlesung auch Verfahren vorgestellt, die bestimmte Abhängigkeiten eliminieren, ohne die Programmsemantik zu verändern. — This lecture deals with establishing in an imperative program, which (instances of) instructions depend on which other. Such dependencies arise because an instruction writes an array element that is read on another site. This analysis is the basis for optimizing and parallelizing compiler for, or for program verification (slicing), or reverse engineering. In addition to various analysis and description, techniques and methods are presented in the lectures that eliminate certain dependencies without

	changing the program semantics.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min. Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten) 90-minute written examination or oral exam (approx. 20 minutes)
Medienformen Media used	Beamer, Tafel, Overheadprojektor Projector, blackboard, overhead projector
Literatur Reading list	Utpal Banerjee: Loop Transformations for Restructuring Compilers - The Foundations, Kluwer, 1993. ST 265 B215. Utpal Banerjee: Loop Transformations for Restructuring Compilers - Dependence Analysis, Kluwer, 1993. ST 265 B215D4. Ausgewählte Forschungsartikel / selected research articles

5616	Schleifenparallelisierung Loop Parallelisation	PN 405285
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Griebl, Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Griebl, Fraser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungsaufgaben + 75 Std. Nachbereitung des Volesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hours exercises + 75 hours independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden wissen, wie imperative Programme, insbesondere Schleifenprogramme mit Arrays als zentrale Datenstrukturen, automatisch semantikerhaltend transformiert, insbesondere parallelisiert werden können. Von der automati-	

	schen Parallelisierung kennen sie die verschiedenen notwendigen Phasen und jeweils eine oder mehrere Techniken dafür. — The students will know how imperative programs, especially loop programs with arrays as a central data structure, can be particularly parallelized by automatically preserving the semantics. For automatic parallelization they will know the various necessary phases and in each case one or more techniques for it. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, die geeigneten, erlernten Techniken für eine konkrete Parallelisierungsaufgabe auszuwählen und anzuwenden. Sie sind in der Lage, die Parallelität für eine ausgewählte Zielfunktion zu optimieren. Sie sind in der Lage, zu erkennen, ob ein Programm die Voraussetzungen der Parallelisierungsmethode erfüllt, und es in einfachen Fällen für die Methode anzupassen. — Students will be able to select and apply the appropriate techniques learned for a specific parallelization task. They will be able to improve the parallelism of a selected objective function. They will be capable of recognizing whether a program meets the requirements of parallelization, and adapt it in simple cases for the method. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben ein Gefühl für die Auswirkungen der Hardware-Architektur auf die Parallelität. Sie kennen die Vorzüge der Einführung eines mathematischen Modells in ein (zunächst) nicht-mathematisches Problem und sind in der Lage, entsprechende mathematischeWerkzeuge sinnvoll einzusetzen. — The students will have a sense of the impact of the hardware architecture to the parallelism. You know the benefits of the introduction of a mathematical model in an (initially) nonmathematical problem and are able to use the appropriate useful mathematical tools.
Inhalt Course content	Die Vorlesung SSchleifenparallelisierungßeigt verschiedene Möglichkeiten der automatischen Parallelisierung von imperativen Programmen mit verschachtelten Schleifen auf. Gesamtaufgabe ist, ein sequenziell aufgeschriebenes Quellprogramm automatisch in ein paralleles Zielprogramm zu transformieren, um dann durch die parallele Abarbeitung des Zielprogramms auf mehreren Prozessoren die Laufzeit zu reduzieren. Eingangs wird kurz die Modellierung von verschachtelten Schleifen und Abhängigkeiten erklärt. Der Schwerpunkt der

	Vorlesung liegt dann auf verschiedenen Parallelisierungstechniken. Sowohl modellbasierte Parallelisierung (wie das Polyedermodell) als auch codebasierte Parallelisierung werden eingehend studiert und miteinander verglichen. Der Stoff führt dabei zum Teil an die Grenzen der aktuellen Forschung. — The lecture "Loop parallelizationßhows different ways of automatic parallelization of imperative programs with nested loops. Overall task is to transform a sequential been signed source program automatically into a parallel target program, and then to reduce the transit time through the parallel execution of the target program on multiple processors. Input briefly explains the modeling of nested loops and dependencies. The focus of the lecture will be located on different parallelization techniques. Both model-based parallelization (such as the polyhedral model) and code-based parallelization are thoroughly studied and compared. The fabric leads in part to the limitations of current research.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min. Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten) 90-minute written examination or oral exam (approx. 20 minutes)
Medienformen Media used	Beamer, Tafel, Overheadprojektor Projector, blackboard, overhead projector
Literatur Reading list	Utpal Banerjee: Loop Transformations for Restructuring Compilers - The Foundations, Kluwer, 1993. ST 265 B215 Utpal Banerjee: Loop Transformations for Restructuring Compilers - Loop Parallelization, Kluwer, 1994. ST 265 B215 L8 diverse Zeitschriftenartikel / research articles

5622	Software-Sicherheit System Security	PN 405143
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga	
Dozent(in) Lecturer	Posegga	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 30 Std. Übungsaufgaben + 75 Std. Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffes, Vorbereitung eines Referats und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 30 hrs exercises + 75 hrs follow-up, preparing a presentation and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Advanced IT Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Verständnis über Verwundbarkeiten deren Arten, Entstehung, Möglichkeiten der Ausnutzung und deren Folgen. Verstehen der Prinzipien für die Entwicklung sicherer Software. Über-	

	blick über Maßnahmen zur Schadensbegrenzung. Kenntnisse über Schritte zur forensischen Analyse von Sicherheitsvorfällen. Überblick der Akademische Leitsätze und praxisrelevante, „best practice“ Ansätze. — Understanding of the types of vulnerabilities, development, possibilities of use and its consequences. Understand the principles for the development of secure software. Overview of mitigation measures. Knowledge of steps for a forensic analysis of security incidents. Overview of Academic principles and practice-relevant “best practice“ approaches. Fähigkeiten / Abilities Aufspüren von Verwundbarkeiten; Ausbesserung von vorhandenen Verwundbarkeiten und forensische Analyse von Sicherheitsvorfällen. — Detection of vulnerabilities; repair of existing vulnerabilities and forensic analysis of security incidents. Kompetenzen / Competencies Betrachtung von Systemen aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Entwicklung, Analyse und Umsetzung möglicher Perspektiven und Reaktionsalternativen. Transformation und Reduktion akademischer Leitsätze auf praxisbezogene Anforderungen. — Consideration of systems from different angles. Development, analysis and implementation of possible perspectives and response alternatives. Transformation and reduction of academic principles to practical requirements.
Inhalt Course content	Der Inhalt des Moduls umfasst dabei z.B. risk & threat analysis, buffer und heap overflows, scripting languages, filter techniques, SQL injections, race conditions, attack surfaces, patch management, software testing, low level software security, Java security, reference monitors, least privilege principle, smart phone security, stack walks und history based access control. — The content of the module includes, i.e., risk & threat analysis, buffer and heap overflows, scripting languages, filter techniques, SQL injections, race conditions, attack surfaces, patch management, software testing, low-level software security, Java security, reference monitors, leases privilege principle, smart phone security, stack walks and history based access control.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Teilprüfungsleistungen: • Referat: ca. 30-min. Referat mit Präsentation über

	selbsterarbeitetes Thema. Die Studierenden können am Semesterbeginn aus einer Auswahl von Themen wählen. • Schriftliche/mündliche Prüfung: 60-min. schriftliche Prüfung oder ca. 20-min. mündliche Prüfung. Die Prüfungsart wird am Semesterbeginn durch den/die Dozent(in) festgelegt und bekanntgegeben. Eine Anmeldung zum Referat impliziert automatisch eine Anmeldung zu einem der angebotenen Termine zur schriftlichen/mündlichen Prüfung im Anschluss an den gleichen Vorlesungszeitraum. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilprüfungsleistungen bestanden werden. Dabei wird die schriftliche/mündliche Prüfung mit 80% gewichtet, das Referat mit 20%. — This module is assessed in partial examinations: • Oral presentation: approx 20 min. Students in small groups will present selected topics chosen during the semester. • 60-minute written or 20-minute oral examination. The specific mode of assessment will be announced by the lecturer at the start of the semester. Registration for the presentation automatically implies a registration for any of the dates offered for written/oral examination following the same course of lectures. In order to pass this module, students must pass both partial examinations. The exam will count 80% of the grade, the oral presentation 20%.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Michael Howard & David LeBlanc: Writing Secure Code, Microsoft Press, 2nd edition, 2002 Gary McGraw: Exploiting Software: How to Break Code, Addison-Wesley, February 2004 John Viega & Gary McGraw: Building Secure Software, Addison-Wesley, 2001 Mark G. Graff & Kenneth R. van Wyk: Secure Coding, O.Reilly, 2003 Brian A. La Macchia, Sebastian Lange, Matthew Lyons, Rudi Martin, and Kevin T. Price: .NET Framework Security, Addison-Wesley, 2002 L. Gong, G. Ellison, M. Dageforde: Inside Java 2 Platform Security, Addison-Wesley, 2nd Edition, 2003

5670	Logik für Informatiker Computational Logic	PN 455357
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Mindestens jedes 2. Sommersemester At least every other summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kreuzer	
Dozent(in) Lecturer	Kreuzer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 65 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 65 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I Linear Algebra I	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen den Aufbau und die Anwendung logischer Systeme. Sie sind mit wichtigen logischen Systemen und den zugehörigen Kalkülen vertraut. Weiterhin kennen sie wichtige Beweismethoden für logische Fragestellungen.	

	— Students know the structure and the application of logical systems. They are familiar with important logical systems and the associated calculi. Furthermore, they know the important methods of proof for logical issues. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, logische Fragestellungen im Rahmen eines geeigneten logischen Systems zu modellieren. Sie können die erzeugten logischen Formeln mit Hilfe geeigneter Kalküle auf Erfüllbarkeit testen. Sie sind ebenfalls fähig, einfache Beweise zu Fragestellungen der mathematischen Logik selbstständig zu führen. — The students are able to model logical issues in the context of a suitable logical system. You can test the generated logical formulas using appropriate calculations to satisfiability. You are also able to perform simple proofs independently on issues of mathematical logic. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben evaluative Kompetenzen in Bezug auf die Verknüpfung der theoretischen Inhalte ihres Studiums mit praxisnahen Problemstellungen, organisatorische Kompetenzen in Bezug auf ihr Zeit- und Arbeitsmanagement, sowie selbst-reflexive und Entwicklungskompetenzen im interdisziplinären Bereich zwischen der Mathematik und der Informatik. — Students acquire evaluative skills in relation to the link between the theoretical contents their studies with practical problems, organizational skills in relation to their time and work management, and self-reflexive and development expertise in the interdisciplinary area between mathematics and Computer Science.
Inhalt Course content	Basierend auf einer grundlegenden Einführung der strukturlogischen Systeme, insbesondere der Diskussion der Bedeutungen der Begriffe Syntax, Semantik und Kalkül (oder Beweissystem), werden wichtige klassische und moderne logische Systeme besprochen, z. B. Aussagenlogik, Prädikatenlogik, Modallogik und Temporallogik. Neben der Diskussion der Syntax und Semantik dieser logischen Systeme werden auch wichtige Kalküle wie das Resolventenkalkül, der Markierungsalgorithmus oder das Tableaukalkül besprochen. Ferner wird der Bezug dieser Algorithmen zu konkreten Implementierungen und Logik-Compilern wie PROLOG hergestellt. In den Übungen wird großer Wert darauf gelegt, dass die Studierenden lernen konkrete, anwendungsbezogene Probleme in

	geeigneten logischen Systemen zu modellieren. Ferner werden die besprochenen Beweissysteme an konkreten Beispielen eingeübt. — Based on a basic introduction to the structure of logical systems, in particular the discussion of the meanings of the terms syntax, semantics and calculus (or proof system), important classical and modern logical systems are discussed, such as propositional logic, predicate logic, modal logic and temporal logic. Besides the discussion of the syntax and semantics of these logical systems calculi, also important themes such as the Resolventenkalkül, the Marking algorithm or the tableau calculus are discussed. Furthermore, the relation of these algorithms is made to concrete implementations and logic compilers such as PROLOG. In the exercises, great emphasis is placed on ensuring that students are taught how to model specific application-related problems in suitable logical systems. Furthermore, the evidence discussed systems are practiced on concrete examples.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minütige Klausur 90-minute written exam
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	z. B. M. Kreuzer und S. Kühling, Logik für Informatiker, Pearson, München 2006

5710 Algorithmische Graphentheorie und perfekte Graphen PN 455414 Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	In der Regel jedes 2. Semester Usually every other semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rutter
Dozent(in) Lecturer	Rutter
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen Algorithms and Data Structures
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen grundlegende Begriffe der algorithmischen Graphentheorie und die in diesem Zusammenhang wichtigsten Graphklassen und deren Charakterisierungen, nämlich perfekte Graphen, chordale Graphen, Vergleich-

	barkeitsgraphen, sowie Intervall-, Split-, und Permutationsgraphen. — The students know the fundamental notions of algorithmic graph theory along with the, in this context, most important graph classes and their characterizations. These are perfect graphs, chordal graphs, comparability graphd as well as interval, split, and permutation graphs. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Algorithmen zur Erkennung dieser Graphen sowie zur Lösung grundlegender algorithmischer Probleme auf diesen Graphen exemplarisch ausführen und analysieren. — The students can apply and analyze algorithms for recognizing and solving fundamental algorithmic problems on these graph classes. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz in angewandten Fragestellungen Teilprobleme zu identifizieren, die sich mittels dieser Graphklassen ausdrücken lassen, sowie neue Algorithmen für Probleme, die zu Problemstellungen aus der Vorlesung verwandt sind, auf diesen Graphklassen zu entwickeln. — The students have the competence to identify subproblems of applied questions that can be modeled using these graphs classes and to develop new algorithms for problems on these graph classes that are related to the topics of the lecture.
Inhalt Course content	Viele grundlegende, in vielen Kontexten auftauchende Problemstellungen, etwa Färbungsprobleme oder das Finden von unabhängigen Mengen und maximalen Cliquen, sind in allgemeinen Graphen NP-schwer. Häufig sind in Anwendungen vorkommende Instanzen dieser schwierigen Probleme aber wesentlich stärker strukturiert und lassen sich daher effizient lösen. In der Vorlesung werden zunächst perfekte Graphen sowie deren wichtigste Unterklasse, die chordalen Graphen, eingeführt und Algorithmen für diverse, im allgemeinen NP-schwere Probleme, auf chordalen Graphen vorstellt. Anschließend werden vertiefte Konzepte wie Vergleichbarkeitsgraphen besprochen, mit deren Hilfe sich diverse weitere Graphklassen (Intervall-, Split-, und Permutationsgraphen) charakterisieren und erkennen lassen, sowie Werkzeuge zum Entwurf von spezialisierten Algorithmen für diese vorgestellt. — Many fundamental problems that appear in a multitude of

	contexts, such as coloring problems or finding maximum independent sets and maximum cliques, are NP-hard for general graphs. Often instances from practical applications have much more structure, and can be solved efficiently. The lecture first introduces perfect graphs and their most important subclass, the chordal graphs and presents efficient algorithms for solving various problems on these graphs, which are known to be NP-hard in the general case. Afterwards more advanced concepts like comparability graphs, which allow to characterize and recognize various other graphs classes such as interval, split, and permutation graphs, are covered along with tools and techniques for developing specialized algorithms for them.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Mündliche Prüfung (ca. 25 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben Oral exam of about 25 minutes. The exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten/ von der Dozentin bekannt gegeben Golumbic, Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs, 2nd. ed., Annals of Discrete Mathematics, vol. 57, Elsevier, 2004 Spinrad, Efficient Graph Representations, Field Institute Monographs, vol. 19, AMS, 2003 Course reader for the lecture.

5712	Algorithmen zur Visualisierung von Graphen Algorithms for Graph Visualization	PN 455352
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rutter	
Dozent(in) Lecturer	Rutter	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 55 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen Algorithms and Data Structures	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben systematisches Verständnis algorithmischer Fragestellungen und Lösungsansätze im Bereich der Visualisierung von Graphen, das auf dem bestehenden Wissen in den Themenbereichen Graphentheorie und Algorithmik	

	aufbaut. Sie können Begriffe, Strukturen und grundlegende Problemdefinitionen aus der Vorlesung erklären. — The students acquire a systematic understanding of algorithmic problems and solution approaches in the area of graph visualization, based on their prior knowledge in the area of graph theory and algorithms. They can explain the notions, structures, and fundamental problem definitions from the lecture. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Layoutalgorithmen für verschiedene Graphklassen exemplarisch ausführen, mathematisch präzise analysieren und ihre algorithmischen Eigenschaften beweisen. Zudem können die in der Vorlesung vorgestellten Komplexitätsresultate erklären und eigenständig ähnliche Reduktionsbeweise für neue Layoutprobleme führen. — The students can execute layout algorithms for different graph classes on examples, analyze them in a mathematically precise way, and they can argue their algorithmic properties. Moreover, they can explain the complexity results presented in the lecture and they are able to develop reductions for new layout problems that are similar to the ones from the lecture. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz zu einem gegebenen Layoutproblem einen passenden Algorithmus auszuwählen, und diesen ggf. den Anforderungen einer konkreten Problemstellung anzupassen. Zudem sind sie in der Lage Visualisierungsprobleme aus Anwendungen der Graphvisualisierung zu analysieren, zu modellieren, und auf Basis der erlernten Konzepte und Techniken Lösungen für dieses Modell zu entwerfen und deren algorithmische Eigenschaften nachzuweisen. — The students have the competence to select a suitable algorithm for a given layout problem, and to adapt it to the requirements of a concrete problem. Moreover, they are able to analyze and model visualization problems from practical applications and, based on the concepts and techniques from the lecture, they can develop solutions for these models and prove their algorithmic properties.
Inhalt Course content	In vielen Anwendungen ist es nützlich auftretende Graphen und Netzwerke zu visualisieren. Dabei besteht das Kernproblem darin, das sogenannte Layoutproblem zu lösen, also den Knoten Koordinaten in der Ebene zuzuweisen und die Kanten auf Kurven zwischen den Endpunkten abzubilden. Je nach

	Anwendung werden dabei unterschiedliche Gütekriterien optimiert. Das Forschungsgebiet des Graphenzeichnens baut dabei auf Ansätze aus der Algorithmik, der Graphentheorie und der algorithmischen Geometrie auf. In der Veranstaltung wird eine repräsentative Auswahl an Visualisierungsproblem vorgestellt, deren Komplexität untersucht und zugehörige Algorithmen entworfen und analysiert. — In many applications it is useful to visualize graphs and networks. The core problem is to solve the so-called layout problem, which is to determine coordinates in the plane for the vertices and to map the edges to curves between their endpoints. Depending on the application, different optimization criteria apply. The Graph Drawing research area combines techniques from algorithms, graph theory, and computational geometry. The lecture provides a representative selection of visualization problems, for which the complexity is analyzed and corresponding algorithms are developed and analyzed.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Mündliche Prüfung (ca. 25 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben Oral exam (about 25 minutes); The exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten/ von der Dozentin bekannt gegeben G. Di Battista , P. Eades, R. Tamassia, I. G. Tollis: Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs, Prentice Hall, 1999. M. Kaufmann und D. Wagner (eds): Drawing Graphs: Methods and Models, Springer LNCS 2025, 2001

5713	Parametrisierte Algorithmen Parameterized Algorithms	PN 455413
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	In der Regel jedes 2. Semester Usually every other semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rutter	
Dozent(in) Lecturer	Rutter	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen, Effiziente Algorithmen Algorithms and Data Structures, Efficient Algorithms	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen grundlegende Begriffe der parametrisierten Algorithmen und der zugehörigen Komplexitätstheorie. Sie kennen zudem verschiedene Entwurfstechniken zur Konstruktion parametrisierter Algorithmen.	

	— The students know the fundamental notions of parameterized algorithms and complexity. They know several techniques for the design of parameterized algorithms. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können die in der Vorlesung vorgestellten Verfahren exemplarisch ausführen, deren Funktionsweise erläutern und sie analysieren. — The students can apply the algorithms presented in the lecture on examples, can explain the way they work and are able to analyze them. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz, die in der Vorlesung vorgestellten Techniken einzusetzen, um parametrisierte Algorithmen zu entwerfen. Sie sind in der Lage, diese zu bewerten und unter mehreren Alternativen die passendste Technik und Parametrisierung für ein gegebenes Problem auszuwählen. — The students have the competence to use the techniques presented in the lecture to construct parameterized algorithms. They are able to choose and evaluate the most fitting techniques and parametrization for a given problem.
Inhalt Course content	Grundlagen parametrisierter Komplexitätstheorie, Entwurfstechniken für parametrisierte Algorithmen, z.B. Kernbildung, beschränkte Suchbäume, iterative Kompression, Baumweite und andere Graphparameter sowie untere Schranken. — Foundations of parameterized complexity, algorithmic techniques for parameterized algorithms, e.g., kernelization, bounded search trees, iterative compression, treewidth and other graph parameter, and lower bounds.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Mündliche Prüfung (ca. 25 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben Oral exam (about 25 minutes); The exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	M. Cygan, F.V. Fomin, L. Kowalik, D. Lokshtanov, D. Marx, M. Pilipczuk, M. Pilipczuk, S. Saurabh, Parameterized Algorithms, Springer, 2015

5715 Einführung in die Topologische Datenanalyse Introduction to Topological Data Analysis	PN 482115
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rutter
Dozent(in) Lecturer	Rutter
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 75 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 75 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	7
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Es werden Kenntnisse in Algorithmen und Datenstrukturen und linearer Algebra vorausgesetzt. The course assumes knowledge of algorithms and data structures and linear algebra.
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden kennen die grundlegenden Konzepte, Techniken und Resultate der topologischen Datenanalyse (TDA). Sie kennen die einzelnen Schritte der TDA-Pipeline und kön-

	nen diese eigenständig auf Beispiele anwenden und die Ergebnisse erläutern und interpretieren. Sie besitzen zudem einen Überblick über die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Schritten der TDA-Pipeline und kennen deren Eigenschaften insbesondere im Hinblick auf Stabilität. Sie haben das erforderliche Wissen, um TDA in eigenen Projekten anzuwenden und sind in der Lage aktuelle Arbeiten aus dem Gebiet zu lesen und zu verstehen. — Students know the fundamental concepts, techniques and results from topological data analysis (TDA). They know the individual steps of the TDA pipeline and can apply them to examples and explain and interpret the results. They further have an overview of the interconnections of the different steps of the TDA pipeline, in particular with respect to stability. They have the required knowledge to apply TDA in their own projects and they are able to read and understand current works from this area.
Inhalt Course content	Topologische Datenanalyse (TDA) ist ein relativ junges Gebiet der Informatik, in dem Techniken aus der Computergeometrie und der algebraischen Topologie verwendet werden, um die Form von Daten zu analysieren und zu quantifizieren. Die grundlegende Idee besteht darin, aus einer Engabepunktmenge zunächst eine Filtration von ineinander enthaltenen topologischen Räumen zu erzeugen und anschließend deren Struktur hinsichtlich des Vorhandenseins von Löchern zu untersuchen. Löcher mit hoher Persistenz, die also über einen großen Teil der Filtration hinweg bestehen, beschreiben strukturelle Eigenschaften der zugrundeliegenden Daten. Die resultierenden Persistenzdiagramme können anschließend direkt interpretiert werden, oder als Eingabe für weitere Verarbeitungsschritte etwa im Machine Learning dienen. Die Vorlesung führt in die typologische Datenanalyse ein. Dazu gehören mathematische Grundbegriffe aus der Topologie (Simpliziale Komplexe, Homologie), Filtrationen und persistente Homologie, verschiedene Komplexe auf Punktwolken (Cech-Complex, Vietoris-Rips-Komplex, Delaunay-Complex, Witness-Complex), Persistenz-Diagramme und Abstandsmaße sowie die TDA-Pipeline, Reeb-Graphen und der Mapper-Algorithmus. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Vermittlung der Theorie der topologischen Datenanalyse und der zugehörigen Algorithmen. Zudem werden einige Anwendungen vorgestellt. — Topological Data Analysis (TDA) is a relatively new subfield

	of computer science that uses techniques from computational geometry and algebraic topology to analyze and quantify the shape of data. The main idea is to construct from an input point set a filtration of topological spaces whose structure is then analyzed in terms of the existence of holes and voids. Holes with large persistence, that is holes that persist for a large part of the filtration, describe structural properties of the underlying data. The result is encoded in so-called persistence diagrams, which can be interpreted directly or can be used as input for subsequent processing, for example using Machine Learning. This course is an introduction to topological data analysis. This includes a background of mathematical notions from topology (simplicial complexes, homology), persistent homology, different simplicial complexes on point clouds (Cech-complex, Vietoris-Rips-complex, Delaunay-complex, Witness-complex), persistence diagrams and distance measures as well as the TDA pipeline, Reeb Graphs and the Mapper algorithm. A focus lies on presenting the theory of topological data analysis and the accompanying algorithms. Additionally, some applications are presented.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Schriftliche Klausur (90 Minuten) oder mündliche Prüfung (30 Minuten). Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (90 minutes) or oral exam (30 minutes). The exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Main Source: Tamal K.Dey, Yusu Wang: Computational Topology for Data Analysis, 2021 Additional ressources: Herbert Edelsbrunner, John Harer: Computational Topology: An Introduction, American Mathematical Society, 2010 Gunar Carlsson, Mikael Vejdemo-Johansson: Topological Data Analysis with Applications, Cambridge University Press, 2021 Allen Hatcher: Algebraic Topology, Cambridge University Press, 2002

5720 Modellierung und Beherrschung komplexer Systeme PN 405129 Modeling and Control of Complex Systems	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	De Meer
Dozent(in) Lecturer	De Meer
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 85 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 50 hrs exercises + 85 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	7
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Verständnis von grundlegenden Modellierungstechniken aus dem Bereich komplexer Systeme, insbesondere von Modellen, die auf Differenzialgleichungen und Rekursion basieren (z.B. logistisches Modell), von Netzwerkmodellen (z.B. small world)

	und von automatenbasierten Modellierungsverfahren. — Understanding basic modeling techniques from the field of complex systems, especially models based on differential equations and recursion based (e.g. logistic model), network models (e.g. small world) and of machines based modeling method. Fähigkeiten / Abilities Aufstellen von einfachen Modellen, Bestimmung von wesentlichen Systemeigenschaften (Fixpunkte, Bifurkationspunkte usw.) aus den Modellgleichungen. — Setting up of simple models, determination of essential system properties (fixed points, bifurcation points, etc.) from the model equations. Kompetenzen / Competencies Fähigkeit komplexe Informationstechnische Systeme auf Modelle abzubilden und die Aussagen der Modelle im Hinblick auf das Systemverhalten zu interpretieren. — Ability to model complex information technology systems on models and interpret the statements of the models in terms of the system's behavior.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: • Detaillierte Eigenschaften Komplexer Systeme • Vertiefte Prinzipien der Modellerstellung • Elementare Eigenschaften von Differential- und Rekursionsgleichungen • Vertieftes Wissen von Zellularen Automaten • Vertieftes Wissen über den Zusammenhang von Netzen und „small world“ bzw. „scale-free“ Eigenschaften • Kenntnisse der „Power-Law“ Verteilung — The following topics are covered: • Detailed characteristics of Complex Systems • Substantive principles of modeling • Elementary properties of differential and recurrence equations • In-depth knowledge of cellular automata • In-depth knowledge of the relationship of networks and “small world“ and “scale-free“ properties • Knowledge of the “power law“ distribution.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung, je nach Anzahl der Hörer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.

	90-minute written or 20-minute oral examination, depending on the number of listeners. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel (oder Labor/Rechner/...) Presentation and projector, blackboard (or laboratory/computer)
Literatur Reading list	N. Boccara, Modeling Complex Systems, Springer Verlag

5721	Foundations of Energy Systems	PN 455361
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	De Meer	
Dozent(in) Lecturer	De Meer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Rechnernetze Computer Networks	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen aktuelle und zukünftige Konzepte der Kommunikation zwischen Rechnern und anderen Elementen kennen. Sie erhalten Kenntnisse über den Aufbau und den praktischen Einsatz von Sensornetzwerken, Virtualisierung und den Smart Grid, sowie der praktischen Bedeutung und Umset-	

	zung von Energieeffizienz. — The students will learn about current and future concepts of communication between computers and other elements. They will gain knowledge of the structure and practical application of sensor networks, virtualization, and the Smart Grid as well as the practical importance and implementation of energy efficiency. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden entwickeln Fertigkeiten im Design und im Entwurf der Architektur und Analysemethoden bei oben genannten Formen der Netzwerke. Sie erhalten die Fähigkeit die Veränderungen und Weiterentwicklungen, die mit dem Internet geschehen zu verstehen und auf Sensornetze und den Smart Grid etc. anzuwenden. Insbesondere wird die Fähigkeit zur Bestimmung erforderlicher Parameter erlangt. — Students will develop skills designing architecture and analysis methods in the above types of networks. They will gain the ability to understand the changes and developments undergone by the Internet and apply these to sensor networks and the Smart Grid, among other things. In particular, they will be able to determine the required parameters. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, an Hand der Anforderungen selbstständig den Aufbau von aktuellen und zukünftigen heterogenen Netzwerken nachzuvollziehen und neue Netzwerke zu konzipieren. Im Rahmen von Studienprojekten wird die Kompetenz zur praktischen und theoretischen Forschungsarbeit erlangt sowie zu dieser eigene wissenschaftliche Beiträge zu verfassen. — The students will be able to independently understand – with reference to the given requirements – the structure of current and future heterogeneous networks, and design new networks. As part of study projects, practical and theoretical research expertise will be acquired and used in scientific papers.
Inhalt Course content	Diese Vorlesung schließt an „Rechnernetze“ an und vertieft das Wissen über die Vernetzung von Rechnern und dem Umgang mit einem Netz von heterogenen Netzen, sowie dessen Beherrschung. Es wird in die Themen Energieeffizienz, Sensornetzwerke, Virtualisierung und Smart Grid eingeführt. — This course builds on “Computer Networks“ and consolidates students’ knowledge of computer networks and heterogeneous

	network maintenance and control. Students are introduced to the concepts of energy efficiency, sensor networks, virtualization, and Smart Grid.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Je nach Teilnehmerzahl mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten) oder Klausur (90 Minuten). Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or oral exam of about 20 minutes, depending on the number of participants. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Math H. J. Bollen, Fainan Hassan, Integration of Distributed Generation in the Power System, Wirely, 2011 Ali Keyhani, Design of Smart Power Grid Renewable Energy Systems, Wiley, 2011 Holger Karl, Andreas Willig, Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, Wiley, 2005 A. Berl, A. Fischer, and H. de Meer. Using System Virtualization to Create Virtualized Networks. Workshops der Wissenschaftlichen Konferenz Kommunikation in Verteilten Systemen (WowKiVS2009), Kassel, Germany, March 2-6, 2009. vol. 17, EASST, 2009.

5722	Funktionale Sicherheit Functional Safety	PN 455404
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Modul wird nicht mehr angeboten Module no longer offered	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	De Meer	
Dozent(in) Lecturer	De Meer	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Stochastik, Grundlagen der Informatik, (IT-Sicherheit) Stochastics, Principles of Computer Science, (IT Security)	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Verständnis der Methoden und Techniken in der System-, Hardware- und Softwareentwicklung sicherheitskritischer Systeme. Kenntnis der Architekturen sicherheitskritischer softwaregestützter Systeme. Verstehen der analytischen Methoden	

	zum Nachweis der funktionalen Sicherheit dieser Systeme sowie Strategien in der Sicherheitstechnik. Kenntnis über die Prozesskategorien und Prozessgebiete von Qualitätsmanagementsystemen. — Understanding of the methods and techniques in the system, hardware and software development of safety-critical systems. Knowledge of the architectures of safety-critical software-based systems. Understanding of the analytical methods for the detection of functional safety, and strategies in security technology. Knowledge of the process categories and process areas of quality management systems. Fähigkeiten / Abilities Auswahl und Anwendung geeigneter Methoden im Sicherheitslebenszyklus. Entwicklung geeigneter System-, Software und Hardware-Architekturen. Anwendung analytischer Methoden (FMEA, K-FMEDA, FTA, ETA, Markov, RBD) für den Nachweis der funktionalen Sicherheit. Nutzen von Qualitätsmanagementsystemen im Sinne der funktionalen Sicherheit. — Selecting and applying appropriate methods in the safety lifecycle. Development of suitable system, software and hardware architectures. Application of analytical methods (FMEA, K-FMEDA, FTA, ETA, Markov, RBD) for confirmation of functional safety. Benefits of quality management systems in terms of functional safety. Kompetenzen / Competencies Einordnung der Methoden und Techniken entsprechend der Wirksamkeit hinsichtlich der Sicherheitsintegritäts-Levels. Selbständige Bestimmung der Eignung von Maßnahmen, Techniken und Methoden. Verantwortungsbewusstes, kooperatives und zielgerichtetes Handeln in großen Projekten. — Classification of methods and techniques related to the effectiveness in terms of safety integrity level. Self-determination of the suitability of measures, techniques and methods. Responsible, cooperative and purposeful action in large projects.
Inhalt Course content	Auf Basis der Norm IEC 61508 werden alle Gebiete der System- und Hardwareentwicklung entlang des Sicherheitslebenszyklus behandelt. Besonders geeignete Methoden und Techniken werden vertieft und an Beispielen erläutert sowie in den Übungen angewendet. — Based on the IEC 61508 standard, all areas of the system and hardware development along the security lifecycle are treated.

	Particularly suitable methods and techniques are discussed in greater depth, illustrated using examples and used in the exercises.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur 90-minutes written examination
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel (Labor/Rechner) Presentation and projector, blackboard (laboratory/computer)
Literatur Reading list	Peter Löw, Roland Pabst, Erwin Petry, Funktionale Sicherheit in der Praxis, Dpunkt Verlag 2010, ISBN 978-3-89864-898-1 IEC/DIN EN 61508 – Internationaler Standard – Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme, 1998/2002 Scheeweis, W.: Die Fehlerbaum-Methode (aus dem Themenkreis Zuverlässigkeits- und Sicherheits-Technik)

5723	Computer Performance Evaluation	PN 462401
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	In der Regel jedes Wintersemester Usually every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	de Meer	
Dozent(in) Lecturer	de Meer	
Sprache Language of instruction	Vorlesung: Englisch; Übung: Deutsch/Englisch Lecture: English; Tutorial: German/English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 35 Std. Übungen + 85 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 35 hrs exercises + 85 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlagen der Stochastik, Rechnernetze Basic stochastics, Computer Networks	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen wichtige theoretische Grundlagen sowie praktische Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge der Leistungsmodellierung und quantitativen Leistungsbewertung von Rechnersystemen und Rechnernetzen. Insbesondere sind sie mit Warteschlangenmodellen und zeitkontinuierlichen	

	Markov-Ketten sowie deren Analyse vertraut. — Students will know key theoretical principles as well as practical approaches, methods and tools for performance Modeling and quantitative performance evaluation of computer systems and computer networks. In particular, students are familiarised with queuing models and continuous-time Markov chains and how they are analysed. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können bewährte und neue Modellierungstechniken, Analysemethoden und Softwarewerkzeuge einschätzen, auswählen und für praktisch relevante Fragestellungen anwenden. — Students will be able to evaluate and select new Modeling techniques, analytical methods and software tools, as well as apply them to practically relevant problems. Kompetenzen / Competencies Sie können praktische Problemstellungen in analytische Modelle übertragen und die Leistung des untersuchten Realsystems durch die Analyse des Modells bewerten. Die Studierenden finden relevante wissenschaftliche Publikationen, können diese verstehen und eigene wissenschaftliche Beiträge ausarbeiten und präsentieren. — Students will be able to express practical problems in terms of analytical models and evaluate the performance of the examined real system through the analysis of the model. Students will be able to find and comprehend relevant scientific publications, and to develop and present their own scientific contributions.
Inhalt Course content	Das Modul vermittelt einen Überblick über die grundlegenden Methoden und Algorithmen der Leistungsmodellierung und -bewertung mit Fokus auf Rechnernetze. Ein Schwerpunkt des Kurses liegt hierbei auf der praktischen Anwendung von entsprechenden Softwarewerkzeugen. Darüber hinaus gibt der Kurs eine Einführung in die mathematischen Grundlagen, die grundlegenden stochastischen Konzepte und Algorithmen. Im Einzelnen behandelt das Modul den Modellierungsprozess und Modellvalidierung, Markov-Ketten, Warteschlangensysteme und -netze, stochastische Petri-Netze, analytische und numerische Lösungsansätze und diskrete, ereignisorientierte Simulation. Die Softwarewerkzeuge WinPEPSY, Matlab, SHARPE, MOSEL-2 und ns2 werden von den Studierenden praktisch angewendet.

	— The module provides an overview of the basic methods and algorithms of performance modeling and assessment with a focus on computer networks. A focus of the course will be placed on the practical application of appropriate software tools. In addition, the course provides an introduction to the mathematical foundations, the basic stochastic concepts and algorithms. Specifically, the module covers modeling process and model validation, Markov chains, queuing systems and networks, stochastic Petri nets, analytical and numerical solutions and discrete event simulations. The software tools WinPEPSY, Matlab, SHARPE, MOSEL-2 and ns2 will be practiced by the students.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur 90-minute written examination
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer; ergänzende Erläuterungen an Tafel; praktische Übungen in Rechnerraum Presentation with a projector; additional explanations on the blackboard; practical exercises in the computer room
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekannt gegeben Announced during the lecture

5724	Safety and Security of Critical Infrastructures	PN 451006
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	de Meer	
Dozent(in) Lecturer	de Meer	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“, Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „InfKomm“, Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlagen der IT-Sicherheit, Rechnernetze und Computer Networks and Energy Systems von Vorteil Basics of IT Security, Computer Networks and Computer Networks and Energy Systems advantageous	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen aktuelle und zukünftige Konzepte von Sicherheit in Netzen kennen. Sie erhalten Kenntnisse über die verschiedenen Bedrohungen und Angriffe sowie von	

der Konzeption und Implementierung von Sicherheitsdiensten zum Schutz des Netzes. Sie erlangen Kenntnisse über Methoden zur Gewährleistung von Sicherheitszielen wie Datenintegrität, Vertraulichkeit, Zurechenbarkeit und Verfügbarkeit. Bedrohungen wie Maskerade, Abhören von Daten, unberechtigter Zugang zu Services, Sabotage und Modifikation von Informationen können durch geeignete Sicherheitsdienste wie Authentifizierungsservice oder Datenintegritätsservice ausgeschaltet werden.

—

Students will learn about current and future concepts of security in networks. They will acquire knowledge of the various threats and attacks, as well as the design and implementation of security services for the protection of the network. They will gain knowledge of methods for ensuring security goals such as data integrity, confidentiality, accountability and availability. Threats such as masquerade, eavesdropping of data, unauthorized access to services, sabotage and modification of information can be turned off by suitable security services such as authentication services and data integrity services.

Fähigkeiten / Abilities

Die Studierenden entwickeln Fertigkeiten zum Design und Entwurf von Sicherheitsmechanismen bei verdrahteten Netzen, drahtlosen Netzen, mobilen Netzen, Sensornetzen und RFID-basierten Netzen. Sie erlangen die Fähigkeit aktuelle und künftige Konzepte der Netzsicherheit zu verstehen und zu bewerten. Durch die Analyse von verschiedenen Angriffsmethoden wie z.B. DoS oder Relay-Angriffe lernen sie, wie man geeignete Gegenmaßnahmen entwirft und in welcher Schicht des Protokollstacks welche Dienste auf welche Weise implementiert werden können, um die Angriffe zu verhindern.

—

Students will develop skills to design security mechanisms in wired networks, wireless networks, mobile networks, sensor networks and RFID -based networks. They will gain the ability to understand current and future concepts of network security and evaluate them. By analyzing various attack methods such as DoS or relay attacks they learn how to design appropriate countermeasures and in what layer of the protocol stack which services can be implemented to prevent the attacks.

Kompetenzen / Competencies

Die Studierenden sind in der Lage, an Hand der Anforderungen selbstständig die erforderlichen Sicherheitsmechanismen wie Authentifizierungsprotokolle oder Datenintegritätsmechanismen zu entwerfen und zu implementieren.

	— Students will be able to understand the requirements for designing the security mechanisms such as authentication protocols and data integrity mechanisms and to implement them independently.
Inhalt Course content	Das Modul beinhaltet im Bereich Netzsicherheit die Einführung in die Netzsicherheit und Sicherheitsprotokolle für Netzwerke. Weitere Inhalte sind die sichere drahtlose und mobile Kommunikation und der Bereich Sicherheit in drahtlosen Sensornetzwerken der die Punkte Einführung in die Sicherheit von Sensornetzen und Sicherheitsprotokolle in Sensornetzen umfasst. Zudem beinhaltet das Modul den Bereich Sicherheit im Smart Grid, dem zukünftigen intelligenten Stromnetz. — In the network security segment, the module includes an introduction to the network security and security protocols for networks. Other topics include secure wireless and mobile communication. The security in wireless sensor networks area includes an introduction to sensor network security and security protocols in sensor networks. The module also includes the area of security for Smart Grids, the intelligent power grids of the future.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur 90-minute written examination
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel (Labor/Rechner) Presentation and projector, blackboard (laboratory/computer)

Literatur
Reading list
	Yan Zhang, Security in RFID and sensor networks, Auerbach Publications, 2009, ISBN 9781420068399
	G. Schaefer, Netzsicherheit, dpunkt.verlag Claudia Eckert, Christoph Krauß (2011). Sicherheit im Smart Grid: Eckpunkte für ein Energieinformationsnetz, Alcatel-Lucent-Stiftung.
	`http://www.stiftungaktuell.de/index.php?article_id=21&slice=364`
	Claudia Eckert, Christoph Krauß (2012). Sicherheit im Smart Grid: Sicherheitsarchitekturen für die Domänen Privatkunde und Verteilnetz unter Berücksichtigung der Elektromobilität, Alcatel- Lucent-Stiftung.
	`http://www.stiftungaktuell.de/index.php?article_id=21&slice=403`

5725 Methodological Foundations of Distributed Systems	PN 405236
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	de Meer
Dozent(in) Lecturer	Basmadjian
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlagen der Stochastik, Rechnernetze, Computer Performance Evaluation, Verteilte Systeme Basics in stochastics, Computer Networks, Computer Performance Evaluation, Distributed Systems
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Grundlegende Methoden und Methodologien der Analyseinstrumente Verteilter Systemen mit Fokus auf Rechnernetzen. —

	Basic methods and methodologies of analysis instruments used for distributed systems with a focus on computer networks. Fähigkeiten / Abilities Formulieren von Optimierungsproblemen bei Verteilten Systemen, analysieren der Stabilität und Reaktionsfreudigkeit kontrollierter und unkontrollierter Systeme, mathematische Modellierung der Kommunikation Verteilter Systeme, Leistungsmodellierung und Bewertung von Rechnernetzen, modellieren von Entscheidungssituationen mit mehreren Beteiligten.
Inhalt Course content	Der Kurs vermittelt einen Überblick über die grundlegenden Methoden und Methodologien bei Verteilten Systemen mit Fokus auf Rechnernetzen. Ein Schwerpunkt des Kurses liegt auf dem konzeptionellen Verständnis der theoretischen Grundlagen. Darüber hinaus erfolgt eine Einführung in die mathematischen Grundlagen sowie die grundlegenden stochastischen Konzepte und Algorithmen. Themen: Optimierung, Spieltheorie (Game Theory), Überwachungstheorie (Control Theory), Informationstheorie (Information Theory) und Warteschlangentheorie (Queuing Theory) Beispiele verwendeter Werkzeuge: Matlab, NS2, MOSEL-2, LP solvers — The lecture gives a generic overview on fundamental methods and methodologies of Distributed Systems with focus on Computer Networking. One of the main focus of the lecture is dedicated to the conceptual understanding of the theoretical foundations of Computer Networking. Furthermore, an introduction to the mathematical principles and fundamental stochastic concepts as well as algorithms will be given. Topics: Optimization, Game Theory, Control Theory, Information Theory, Queuing Theory Example of used Tools: Matlab, NS2, MOSEL-2, LP solvers
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung, je nach Anzahl der Hörer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or oral exam of about 20 minutes, depending on the number of participants. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	S. Keshav. Mathematical Foundations of Computer Networking, Addison-Wesley, 2012, ISBN- 13: 978-0-321-79210-5

	Aktuelle wissenschaftliche Publikationen / current research articles

5727	Energy Informatics II	PN 455416
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	de Meer	
Dozent(in) Lecturer	de Meer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Energy Informatics I, Foundations of Energy Systems, Information and Communication Systems, Network Security, Computer Networking	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Understanding of the fundamental methodologies, concepts, protocols and architectures that are used in the context of smart grids: • Studying and modelling of smart grid aspects and the	

	interaction of individual components • Knowledge of concepts and methods for grid monitoring, smart grid operation, microgrid management and smart grid (co-)simulation Fähigkeiten / Abilities Selecting and applying appropriate methods for modelling smart grid use cases. Application of grid monitoring, distributed smart grid control, and grid management with relevant software tools. Studying and mastering co-simulation for evaluation of smart grid applications. Kompetenzen / Competencies Self-awareness of the suitability of measures, techniques and methods for smart grid control, monitoring and management.
Inhalt Course content	In this lecture, the focus is upon smart grid control. This includes distributed control schemas, as well as global optimization methods. Several state-of-the-art techniques for smart grid use cases such as optimal power flow approximation and relaxation are discussed. In this lecture, we discuss the following main parts: First, methods in traditional power grid control, including feedback controller and the formulation of grid optimization problems are explored and discussed in the context of renewable energy systems. Next, tools for smart grid monitoring, such as digital twins, non-intrusive load monitoring and SCADA systems, emphasize the need of ICT in power grids. (Co-) simulation is introduced as evaluation concept for smart grid applications. Finally, an outlook is given on future grid control approaches in form of sector-coupled microgrids (=energy cells) and their ICT-based management.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minutes written or 20 minutes oral exam (in English) or portfolio. The students will be informed about the exact type of exam by the beginning of the semester. A portfolio examination may contain: • Written or oral partial examination • Documented and executable source code for tasks with tools • Live demonstration of task solutions • Summary of relevant research papers with topics of the module • Technical report • Ongoing technical sub-reports for a final summary into a complete document • Presentation of created material with use of suitable

	presentation techniques, e.g. PowerPoint, Live-Coding, Whiteboard, Flipchart The work on the portfolio will be carried out parallel to the lecture and the final submission of the portfolio will take place no later than 4 weeks after the end of the lecture period. The lecturer will announce the exact requirements for the portfolio at the beginning of the course.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer, Tafel Presentation on projector, blackboard
Literatur Reading list	Momoh, James. Smart grid: fundamentals of design and analysis. Vol. 63. John Wiley & Sons, 2012. Addidtional literature will be referenced in the lecture material

5730	Optimierung	PN 471765
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Harks	
Dozent(in) Lecturer	Harks	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz, 90 + 90 Std. Eigenarbeitszeit 60 + 30 contact hours, 90 + 90 hrs independent study	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Fragestellungen und Methoden der Optimierung sowie die theoretischen Grundlagen der Algorithmen. — The students get to know the basic challenges and methods of optimization and their theoretical foundations. Fähigkeiten / Abilities	

	Die Studierenden können Optimierungsprobleme modellieren und geeignete Lösungsverfahren auswählen oder selbst implementieren. Weiterhin haben sie sich grundlegende theoretische Einsichten zur Klassifizierung eines gegebenen Optimierungsproblems hinsichtlich einer Charakterisierung und Sensitivitätsanalyse von Optimallösungen angeeignet. Darüber hinaus sind die Studierenden in der Lage, numerische Verfahren für nichtlineare Problem zu implementieren und anzuwenden. — Students are able to model optimization problems, classify them and subsequently know how to choose what kind of optimization solver or algorithm. They have gained a thorough theoretical understanding of the basic properties of optimal solutions in terms of characterizations and sensitivity results. Moreover, they are able to implement and apply numerical methods for nonlinear problems. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, Optimierungsprobleme zu modellieren, zu bewerten und mit Rechnerunterstützung zu lösen, insbesondere sind sie in der Lage Verfahren für nichtlineare Problem zu implementieren und anzuwenden. — The students are able to model practical problems as optimization problems and to select the right solution Methodology including algorithms for nonlinear optimization problems.
Inhalt Course content	Modellierung von Optimierungsproblemen, Lineare Optimierung, Simplex-Verfahren, Nichtlineare Optimierung, KKT Theoreme, Dualität, Numerische Verfahren für nichtlineare Optimierungsprobleme — Modelling of optimization problems, linear optimization, simplex method, nonlinear optimization, KKT theorems, duality, numerical methods for nonlinear problems
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	2 Teilleistungen: Teilleistung 1 (80%): 120 minütige Klausur über die Gebiete oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); Lineare Optimierung, Simplex-Verfahren, Nichtlineare Optimierung, KKT Theoreme, Dualität. Teilleistung 2 (20%): 30 minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 15 Minuten); Numerische Verfahren für nichtlineare Probleme. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. Examination in two parts:

	Part 1 (80%): Exam (120 minutes) or oral exam (ca. 30 minutes); Linear and nonlinear optimization, simplex method, KKT theorems, duality. Part 2 (20%): Exam (30 minutes) or oral exam (ca. 15 minutes); Numerical algorithms for nonlinear problems. For passing the modul, both parts need to be passed.
Medienformen Media used	Tafelanschrieb Blackboard, videos in case of virtual lecture
Literatur Reading list	Skriptum

5731	Einführung in die Numerik Introduction to Numerical Analysis	PN 401814

Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer
Dozent(in) Lecturer	Sauer
Sprache Language of instruction	Deutsch German
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 60 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	9
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis II oder Mathematik in technischen Systemen Analysis II or Mathematics in Technical Systems
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik, Lehramt Mathematik Gymnasium Bachelor Mathematics, Teacher training programme for secondary education in Mathematics (Gymnasium
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden sollen grundlegende Verfahren der Numerik kennen und deren Grenzen beurteilen können. Darüber hinaus sollen sie für Genauigkeitsfragen und den Einfluss von Rundungsfehlern sensibilisiert sein.

	— The students should know basic methods of numerical analysis and to evaluate their limits. In addition, they should be aware of accuracy issues and the influence of rounding errors. Fähigkeiten / Abilities Implementierung grundlegender Algorithmen, Untersuchung der Algorithmen auf Stabilität und Nutzung bestehender Software zur Lösung von numerischen Problemen. — Implementation of basic algorithms, study of algorithms for stability and use of existing software for solving numerical problems. Kompetenzen / Competencies Lösen von realistischen oder realitätsnahen Problemen mit Computerunterstützung, Neuentwicklung und Bewertung von Lösungsmethoden. — Solving realistic or realistic problems with computer support, new development and evaluation of solution methods.
Inhalt Course content	Fehleranalyse, Lösen linearer Gleichungssysteme, Modellierung von Kurven, Interpolation, Lösung nichtlinearer Gleichungen, Numerische Integration — Failure analysis, solving linear systems of equations, modeling of curves, interpolation, solution of nonlinear equations, numerical integration
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Abschlussklausur oder ca. 30 Minuten mündliche Prüfung (wird am Anfang der Veranstaltung mitgeteilt) 120-minute written examination or 30-minute oral examination (the mode of assessment will be announced on the noticeboard and faculty website at the start of the semester)
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Folien, Tafel Presentation and projector, slides, blackboard
Literatur Reading list	J. Stoer: Einführung in die Numerische Mathematik I, Springer, 1980. P. Deuflhard, A. Hohmann: Numerische Mathematik. Eine algorithmisch orientierte Einführung, de Gruyter 1991. N. Higham, Accuracy and stability of numerical algorithms, SIAM 1996 G. Golub, Ch. Van Loan, Matrix computations, John Hopkins University Press, 1983 E. Isaacson, H.B. Keller, Analysis of numerical methods, John Wiley & Sons, 1966

	W. Gautschi, Numerical analysis, an introduction, Birkhäuser 1997 Skriptum zur Vorlesung / Lecture Notes (Course reader)

5732	Ideals in Numerical Applications	PN 455363
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Sauer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II oder äquivalent, Grundlagen Algebra Analysis I + II, Linear Algebra I + II or equivalent, Basic Algebra	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden und anwendungsrelevanten Konzepte und Techniken der Computeralgebra für Idealtheorie deren Anwendung auf und Numerische Probleme.	

	Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Beweistechniken nachvollziehen, auf verwandte Probleme aus Theorie Anwendungsfragen übertragen und auf dieser Basis Algorithmen entwickeln. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, die Konzepte und Methoden der Computeralgebra zu verstehen, und geeignete Techniken für Anwendungsprobleme auszuwählen und zu evaluieren.
Inhalt Course content	The euclidean algorithm; Ideals and bases; Polynomial interpolation; Filters, filterbanks and wavelets; Prony's problem and dual convolutions; Subdivision methods
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten) 30-minute oral examination
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation and projector
Literatur Reading list	Cohen, A. M., Cuypers, H., Sterk, M., editors (1999). Some Tapas of Computer Algebra , volume 4 of Algorithms and Computations in Mathematics. Springer. Cox, D., Little, J., O'Shea, D. (1996). Ideals, Varieties and Algorithms. Undergraduate Texts in Mathematics. Springer–Verlag, 2. edition. Eisenbud, D. (1994). Commutative Algebra with a View Toward Algebraic Geometry, volume 150 of Graduate Texts in Mathematics. Springer. Gathen, J. v. z., Gerhard, J. (1999). Modern Computer Algebra. Cambridge University Press.

5733	Wavelets	PN 471870
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Sauer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II, Numerische Mathematik Analysis I + II, Linear Algebra I + II, Numerical Mathematics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master AI Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die wichtigsten Resultate aus der Theorie der Wavelets und deren Verwendung in Anwendungen im Bereich der Digitalen Signalverarbeitung. —	

	The students know the fundamental results from the theory of wavelets and their applications in the field of digital signal processing. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Beweistechniken aus dem Gebiet der Wavelets nachvollziehen und auf verwandte Probleme aus Anwendungsfragen übertragen und auf dieser Basis Algorithmen entwickeln. — The students can reproduce proof techniques used in wavelets and to transfer them to related problems from applications. On this basis the can develop algorithms. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, sich Techniken aus dem Gebiet zu erschließen und passend für Anwendungsprobleme auszuwählen und zu evaluieren. — The students have the competency to unravel techniques from the field, to select appropriate ones for application problems and to evaluate them.
Inhalt Course content	Fourier Analysis, Topological Groups; Continuous Wavelet Transform; Frames and Groups; Filterbanks & Wavelets; Refinable Functions & Subdivision; Shearlets
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written examination or 20-minute oral examination; the mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation and projector
Literatur Reading list	Holschneider, M. (1995). Wavelets: an analysis tool. Clarendon Press, Oxford. Loomis, L. H. (1953). Introduction to Abstract Harmonic Analysis. Van Nostrand. Dover reprint, 2011. Meyer, Y. (1993). Wavelets - Algorithms and Applications. SIAM. Schüßler, H. W. (1992). Digitale Signalverarbeitung. Springer, 3. edition. Vetterli, M., Kovačević, J. (1995). Wavelets and Subband Coding. Prentice Hall.

5734	Mathematical Foundations of Machine Learning	PN 455394
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Sauer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis II, Numerik, Stochastik Analysis II, Numerics, Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden sollten die grundlegenden Fragestellungen und Methoden der Lerntheorie kennen und verstehen. — The students know and understand basic problems and methods of learning theory.	

	Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Verfahren der Lerntheorie bewerten, selbständig evaluieren, auf praktische Fragestellungen anwenden und einfache Erweiterungen der Verfahren entwickeln. — The students will be able to assess methods of learning theory, to evaluate the methods for themselves and to use the methods in practical problems. Furthermore, they are able to develop simple extensions of the methods. Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer können algorithmische Konzepte der Lerntheorie auf ihre Effizienz und Wirksamkeit beurteilen und eigenständig implementieren. — The students are able to assess algorithmic concepts of learning theory with respect to performance and efficacy and to implement the concepts independently.
Inhalt Course content	Grundlegende Fragestellungen: • Entscheidungsprobleme • Klassifizierungsproblem Verfahren: • Neuronale Netzwerke • Support Vector Machines Grundlagen: • Grundlagen der nichtlinearen Optimierung • Numerische Fragestellungen • Approximationstheoretische Methoden • Bezüge zur Statistik • Reproduzierende Kerne — Basic problems: • Decision problems • Classification problems Methods: • (Artificial) neural networks • Support Vector Machines Basics: • Introduction to nonlinear optimization • Numerical problems • Methods from approximation theory • Connections with statistics • Reproducing Kernels
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90minütige Abschlussklausur oder ca. 30 Minuten mündliche Prüfung (wird am Anfang der Veranstaltung mitgeteilt)

	90-minute written examination or 30-minute oral examination (the mode of assessment will be announced at the start of the semester)
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Folien, Tafel, Skript Presentation projector, slides, blackboard, lecture notes
Literatur Reading list	C. M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning B. Schöllkopf, A. Smola, Learning with Kernels T. Hastie, R. Tibshirami, J. Friedman, The Elements of Statistical Learning F. Cucker, D.X. Zhou, Learning Theory Skriptum zur Vorlesung vollständig ausgearbeitet und gedruckt / Lecture Notes

5736	Kettenbrüche Continued Fractions	PN 456354
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Sauer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II, Numerische Mathematik Analysis I + II, Linear Algebra I + II, Numerical Mathematics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die wichtigsten Resultate aus der Theorie der Kettenbrüche und deren Verwendung in Anwendungen.	

	— The students know the fundamental results from the theory of continued fractions and their use in applications. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Beweistechniken aus dem Gebiet der Kettenbrüche nachvollziehen und auf verwandte Probleme aus Anwendungsfragen übertragen und auf dieser Basis Algorithmen entwickeln. — The students understand methods to prove results in continued fractions and can transfer these techniques to related problems. Particularly, in applications they can also derive algorithms on this basis. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, sich Techniken aus dem Gebiet zu erschließen und passend für Anwendungsprobleme auszuwählen und zu evaluieren. — The students are capable to explore technqiues and methods, to choose appropriate ones for application problems and to evaluate the outcome.
Inhalt Course content	Applications of continued fractions; continued fractions and number theory; continued fractions and polynomials: quadrature, orthogonal polynomials, Sturm chains, Padé approximation; signal processing, Hurwitz and Stieltjes
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben 90-minute written examination or 20-minute oral examination (the mode of assessment will be announced at the start of the semester)
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation and projector
Literatur Reading list	F. R. Gantmacher, Matrix Theory. Vol. II, Chelsea Publishing Company, 1959, Reprinted by AMS, 2000. W. Gautschi, Numerical analysis. an introduction, Birkhäuser, 1997. A. Ya. Khinchin, Continued fractions, 3rd ed., University of Chicago Press, 1964, Reprinted by Dover 1997. O. Perron, Die Lehre von den Kettenbrüchen I/II, 3rd ed., B. G. Teubner, 1954.

	T. Sauer, Continued Fractions and Signal Processing, Springer, 2012.

5739	Geometric Modeling Project	PN 455355
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Sauer	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II oder äquivalent Analysis I + II, Linear Algebra I + II or equivalent	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden und anwendungsrelevanten Konzepte und Techniken der Computeralgebra für Idealtheorie deren Anwendung auf und Numerische Probleme. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können mit den im CAGD üblichen Kurven-	

	und Flächentypen umgehen, Algorithmen zum Umgang mit ihnen entwickeln sowie Eigenschaften der Objekte und Algorithmen mathematisch formulieren und beweisen. Sie können außerdem konkrete Objekte konstruieren, reproduzieren oder generieren. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, die Funktionsweise von CAD-Systemen zu verstehen, geeignete Kurven- und Flächentypen für Modellierungsprobleme auszuwählen und in konkreten Fragestellungen einzusetzen.
Inhalt Course content	Differentialgeometrische Eigenschaften von Kurven und Flächen, Kurvenprimitive im CAD: Polynome, Splines, rationale Kurven. Methoden zur Flächengenerierung: Blending, Tensorprodukt. Untersuchung von geometrischen Differenzierbarkeitseigenschaften.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Erstellung eines Prototypen und Präsentation (30min) zum Projekt und dessen Durchführung Production of a prototype and presentation (30min) about the project and its implementation
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation and projector
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekannt gegeben

5750	Gewöhnliche Differentialgleichungen Ordinary Differential Equations	PN 401817
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	In der Regel jedes Sommersemester Usually every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Forster-Heinlein, Wirth	
Dozent(in) Lecturer	Forster-Heinlein, Wirth	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II Analysis I + II, Linear Algebra I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik Bachelor Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Schlüsselprinzipien über die Existenz und Eindeutigkeit der Lösungen gewöhnlicher Differentialgleichungen, sowie einige Lösungsverfahren. —	

	Students will know the key principles of the existence and uniqueness of solutions of ordinary differential equations and some solution methods. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, die Methoden zur Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen bei konkreten Fragestellungen zu aktuellen Themen der Mathematik und der Naturwissenschaften anzuwenden. — Students will be able to apply the solution methods for ordinary differential equations to topical problems in the field of mathematics and the natural sciences.
Inhalt Course content	• Modellierung mittels Differentialgleichungen • Lösungsverfahren für spezielle Differentialgleichungen erster Ordnung • Existenz- und Eindeutigkeitssätze von Peano und Picard-Lindelöf • Lösungsverfahren für lineare Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme • Stabilitätstheorie für Lösungen autonomer Differentialgleichungen — • Modeling using differential equations • Solution methods for specific first-order differential equations • Existence and uniqueness theorems of Peano and Picard-Lindelöf • Mehods for solving linear differential equations and systems of differential equations • Stability theory for solutions of autonomous differential equations
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 20-minute individual oral examination or 90-minute written examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Übungsblätter Board, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	B. Aulbach, Gewöhnliche Differenzialgleichungen, Spektrum Akademischer Verlag 2004

5753	Distributionentheorie Generalized Function Theory	PN 455360
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Alle vier Semester Every four semesters	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Forster-Heinlein	
Dozent(in) Lecturer	Forster-Heinlein	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II oder äquivalent Analysis I + II, Linear Algebra I + II or equivalent	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden und anwendungsrelevanten Konzepte und Techniken der Distributionentheorie. Fähigkeiten / Abilities	

	Die Studierenden können die Beweistechniken der Distributionentheorie nachvollziehen und auf verwandte Probleme aus Anwendungsfragen überragen und auf dieser Basis eigene Beweise entwickeln. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, die Konzepte und Methoden der Distributionentheorie zu verstehen, und geeignete Analysetechniken der Distributionentheorie für Anwendungsprobleme auszuwählen oder zu entwickeln und anzuwenden.
Inhalt Course content	Inhalt: • Lokalkonvexe topologische Räume, Raum der Testfunktionen, Raum der Distributionen • Charakterisierung von Distributionen, Konvergenz, lokales Verhalten • Cauchy-Hauptwert • Integration von Distributionen und Anwendung auf gewöhnliche Differentialgleichungen • Faltung von Distributionen • Fourier-Transformation, Schwartz-Raum und temperierte Distributionen
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 20-minute individual oral examination or 90-minute written examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Übungsblätter Board, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Primary: • Walter Rudin. Functional Analysis. McGraw-Hill. • Wolfgang Walter. Einführung in die Theorie der Distributionen. B.I.-Wissenschaftsverlag. • Ahmed I. Zayed. Handbook of function and generalized function transformations. CRC Press. Secondary: • D. C. Champeney. A handbook of Fourier theorems. Cambridge University Press. • D. S. Jones. Generalized functions. McGraw-Hill. • Michael Reed and Barry Simon. Methods of Modern Mathematical Physics I : Functional analysis. Academic

	Press. • Laurent Schwartz. Théorie des distributions. Hermann. • François Treves. Topological Vector Spaces, distributions and kernels. Academic Press.

5754	Constructive Approximation	PN 405244
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Sauer	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II oder äquivalent Analysis I + II, Linear Algebra I + II or equivalent	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden und anwendungsrelevanten Konzepte und Techniken der Approximationstheorie. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Beweistechniken der Approximati-	

	onstheorie nachvollziehen und auf verwandte Probleme aus Anwendungsfragen übertragen und auf dieser Basis Algorithmen entwickeln. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, die Konzepte und Methoden der Approximationstheorie zu verstehen, und geeignete Approximationtechniken für Anwendungsprobleme auszuwählen und zu evaluieren.
Inhalt Course content	Qualitative Approximation: Dichtheitsaussagen und Approximation in linearen Räumen; Shape preserving approximation; Quantitive Approximation mit trigonometrischen und algebarischen Polynomen; Translationsinvariante Räume und Wavelets; Der Satz von Kolmogoroff und Neuronale Netze
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written examination or oral examination (approx 20 minutes). The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation, projector
Literatur Reading list	G. G. Lorentz. Approximation of functions. Chelsea Publishing Company, 1966. I. Daubechies. Ten Lectures on Wavelets, volume 61 of CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. SIAM, 1992. P. J. Davis. Interpolation and Approximation. Dover Books on Advanced Mathematics. Dover Publications, 1975.

5756	Funktionalanalysis Functional Analysis	PN 451404
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Prochno	
Dozent(in) Lecturer	Prochno	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II oder Grundlagen der Mathematik 1,2 Analysis I + II, Linear Algebra I + II or the foundations of mathematics 1 and 2	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik, Master Artificial Intelligence Engineering Bachelor Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden theoretischen	

	Techniken, um lineare Funktionale und Operatoren in topologischen Vektorräumen, insbesondere Banach- und Hilbert-Räumen, zu analysieren. — Students know the basic theoretical techniques to analyze linear functionals and operators in topological vector spaces, in particular Banach and Hilbert spaces. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, die Methoden der Funktionalanalysis bei konkreten Fragestellungen zu aktuellen Themen der Mathematik und der Naturwissenschaften anzuwenden. — Students are able to apply the methods of functional analysis to specific, topical problems in mathematics and the natural sciences.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: • Topologische Vektorräume • Normierte Räume und Vollständigkeit • Lineare Operatoren zwischen normierten Räumen • Satz von der offenen Abbildung, Satz vom abgeschlossenen Graphen und Satz von Baire • Hahn-Banach Sätze und Konsequenzen • Satz von Banach-Steinhaus — The following topics are covered: • Topological vector spaces • Normed spaces and completeness • Linear operators between normed spaces • Open mapping theorem, closed graph theorem and Baire's theorem • Hahn-Banach theorems and consequences • Theorem of Banach-Steinhaus
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 25 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 25-minute individual oral examination or 90-minute written examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Übungsblätter Board, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	W. Rudin, Functional Analysis, McGraw Hill, 1991. M. Reed/B. Simon, Functional Analysis, Academic Press,

	1972. D. Werner: Funktionalanalysis, Springer, 2007. F. Hirzebruch, W. Scharlau: Einführung in die Funktionalanalysis, BI-Hochschulbücher, 1991.

5757	Fourier- und Laplace-Transformation Fourier and Laplace Transforms	PN 451405
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Forster-Heinlein	
Dozent(in) Lecturer	Forster-Heinlein	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II oder äquivalent Analysis I + II, Linear Algebra I + II or equivalent	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden theoretischen Methoden der Fourier- und Laplace-Transformation. — Students are familiar with the basic theoretical methods of	

	Fourier and Laplace transform. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, Funktionen, die in konkreten Fragestellungen zu aktuellen Themen der Mathematik und der Naturwissenschaften auftreten, anhand von Fourier-Techniken zu analysieren. — Students are able to analyze functions that occur in specific questions on current topics in mathematics and the natural sciences using Fourier techniques.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: • Fourier-Reihen • Fourier-Integrale in L^1 und L^2 • Poisson-Summationsformel • Abtastsatz • Paley-Wiener-Satz • Lokale Transformationen und die Heisenbergsche Unschärferelation • Laplace-Transformation und ihre Inversion — The following topics are covered: • Fourier series • Fourier integrals in L^1 und L^2 • Poisson summation formula • Sampling theorem • Paley-Wiener Theorem • Local transformations and the Heisenberg uncertainty principle • Laplace transform and its inversion
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 20-minute individual oral examination or 90-minute written examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Übungsblätter Board, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Richard E. Bellman and Robert S. Roth. The Laplace Transform. World Scientific, 1984. Yitzhak Katznelson. An introduction to harmonic analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1968. Rupert Lasser. Introduction to Fourier Series, volume 199 of Monographs and textbooks in pure and applied mathematics.

	Marcel Dekker, Inc., New York, 1996. Stéphane Mallat. A wavelet tour of signal processing. Academic Press, San Diego, 1997. Jayakumar Ramanathan. Methods of Applied Fourier Analysis. Birkhäuser, 1998. Joel L. Schiff. The Laplace Transform. Springer, 1999. P. Wojtaszczyk. A Mathematical Introduction to Wavelets. Number 37 in London Mathematical Society Student Texts. Cambridge University Press, 1997. Robert M. Young. An Introduction to Nonharmonic Fourier Series. Academic Press, New York, 1980.

5762	Sicheres Rechnen Secure Computation	PN 455372
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Katzenbeisser	
Dozent(in) Lecturer	Katzenbeisser	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Advanced IT Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse im Bereich des Sicheren Rechnens, womit sensitive Daten auf nicht vertrauenswürdigen Plattformen sicher verarbeitet werden können. Sie lernen verschiedene Ansätze zur Konstruktion	

	von Verfahren und Protokollen des Sicheren Rechnens basierend auf verschiedenen kryptographischen Verfahren. — Students acquire basic knowledge of secure computation techniques, which can be used to process sensitive data on untrustworthy computing platforms. They learn various approaches to the construction of secure computation methods and protocols based on various cryptographic primitives. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden lernen Einsatzbereiche von Techniken des Sicheren Rechnens kennen. Sie erwerben die Fähigkeit, Techniken des Sicheren Rechnens in der Praxis umzusetzen. — Students learn the application domains of techniques of secure computation. Furthermore, they acquire the abilities to implement secure computation in practice. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden lernen die Sicherheit von Techniken des Sicheren Rechnens zu beurteilen und die für einen Anwendungsfall geeigneten Methoden zu selektieren. — Students learn to analyze the security of techniques of „secure computation“ and are able to select the appropriate methods for a given problem domain.
Inhalt Course content	Das Modul betrachtet die grundlegenden Konstruktionen des Sicheren Rechnens, die auf homomorpher Verschlüsselung, Garbled Circuits oder Secret Sharing basieren. Darüberhinaus werden prominente Anwendungen besprochen sowie Programmierwerkzeuge für Sicheres Rechnen vorgestellt. — The module includes a discussion of the basic techniques to construct secure computation solutions, which are based on homomorphic encryption, garbled circuits or secret sharing. Furthermore, prominent applications will be discussed and programming tools for secure computation will be reviewed.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60 Minuten Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung je nach Anzahl der Hörer; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (60 minutes) or oral exam (about 20 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard

Literatur Reading list	Nach Ansage in der Vorlesung Announced during the lecture

5764	Advanced Security Engineering Lab	PN 455345
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Katzenbeisser	
Dozent(in) Lecturer	Katzenbeisser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	6Ü Es besteht Anwesenheitspflicht. Die Anwesenheitspflicht besteht aus folgenden Gründen: Um den Erfolg der Veranstaltung zu gewährleisten ist eine verstärkte Interaktion der Studierenden untereinander aber auch zwischen Studenten und Betreuern notwendig. Bei der Interaktion mit den Betreuern oder den Kommilitonen, können die Studierenden Probleme besprechen und Lösungsstrategien erarbeiten. Ein weiterer Grund sind die regelmäßig stattfindenden Präsentationen der Studierenden. Jeder Studierende arbeitet sich frühzeitig verstärkt in ein Gebiet der Veranstaltung ein. In der Präsentation vermittelt der Studierende sein Spezialwissen an die anderen Teilnehmer. Damit sichergestellt wird, dass die Studierenden dieses Spezialwissen vermittelt bekommen, müssen sie zu den Präsentationen anwesend sein. Der letzte Grund ist die Überprüfung der praktischen Kompetenz der Studenten. Die Studenten werden während der Anwesenheitszeit befragt um ihren Lernerfolg zu beobachten. Attendance is compulsory. This is for the following reasons: First, to ensure the success of the practicum, it is necessary to enhance the interaction among students and between students and tutors. When interacting with the tutors or fellow students, the students can discuss problems and develop solution strategies. Second, there are the regularly scheduled presentations of the students. Each student works is assigned a topic area for the practicum which he or she treats in greater detail than the others. In the presentation the student shares their detailed knowledge with the other students. To ensure	

	the maximum benefit for all students, it should be ensured that all students are present at the presentation. Third, one of the objectives of the practicum is to test the students' practical skills. The students will be interviewed during their attendance to observe their learning success.
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. betreute Laborarbeit + 110 Std. nicht betreute Laborarbeit + 160 Nachbearbeitung 90 hours supervised laboratory work + 110 hours unsupervised lab work + 160 hours follow-up
ECTS Credits	12
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Technische Informatik, Advanced IT Security
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen fortgeschrittene Techniken der hardware-orientierten IT-Sicherheit in einem praxisorientierten Umfeld kennen, wie beispielsweise Seitenkanalangriffe, Covert Channels, Physically Unclonable Functions oder Trusted Execution Environments. Die Übungsaufagen orientieren sich an aktuellen Forschungsarbeiten. — Students learn in a practical environment about advanced techniques of hardware-oriented cybersecurity, such as side channel attacks, covert channels, Physically Unclonable Functions and Trusted Execution Environments. Assignments are based on current research publications. Fähigkeiten / Abilities Lösen anspruchsvoller Informatik-Aufgaben aus dem Bereich der IT Sicherheit unter praktisch experimenteller Anwendung des im Studium vermittelten Theorie- und Methodenwissens. Entwurf von IT-Sicherheitsarchitekturen auf Basis von Primitiven der hardware-orientierten Sicherheit. Recherche aktueller Publikationen zum übergeordneten Projektthema. Zudem

	lernen die Studierenden die gegenseitige Vermittlung der inhaltlichen Grundlagen. — Solve challenging computer science tasks in the field of IT security under practical experimental application of operations in the study of theories and methods. Construction, modification and analysis of security infrastructures which are based on hardware security primitives. Research in the latest scientific literature on the project topic. Finally, students learn to relate the theoretical underpinnings to each other. Kompetenzen / Competencies Beurteilung der Sicherheitseigenschaften von Sicherheits-Infrastrukturen. Problemlösungskompetenz und Transferkompetenz, der Theorie- und Methodenschatz der Informatik kann auf komplexe, praktische Probleme der IT Sicherheit angewendet werden. Bearbeitung komplexer, konstruktiver und experimenteller Aufgaben aus dem Bereich der hardware-orientierten IT-Sicherheit. — Assessment of the security properties of security infrastructures. Problem-solving skills and knowledge transfer skills; ability to apply the theories and methods of computer science to complex, practical problems of IT security. Ability to process complex, constructive and experimental problems in the field of hardware-oriented security.
Inhalt Course content	Fortgeschritene Techniken der hardware-orientierten IT- Sicherheit, basierend auf aktuellen Forschungsarbeiten, wie beispielsweise: • Seitenkanalangriffe • Covert Channels • Physically Unclonable Functions • Trusted Execution Environments — Advanced techniques of hardware-oriented cybersecurity, based on current research publications, such as: • Side channel attacks • Covert Channels • Physically Unclonable Functions • Trusted Execution Environments
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Das Modul ist in Themenabschnitte unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade unterteilt. Die Studierenden lösen im Team für jeden dieser Abschnitte ein praktisches Problem. Die Schritte der Problemlösung werden in einem Bericht dokumentiert. Nach Fertigstellung der Lösung wird diese den anderen Teil-

	nehmern der Übung präsentiert (Dauer der Präsentation: ca. 30 Minuten). Die Kombination aus Protokollen und zugehöriger Präsentation stellt sicher, dass die erarbeiteten Lösungen und das zugehörige Wissen nicht nur schriftlich dargelegt wird, sondern auch praktisch angewendet werden kann. The module is divided into topic segments of varying difficulty. Students develop in a team a practical problem. The solution is documented in a report. The report is presented to other students when it is complete (duration of presentations: 30 minutes). The combination of protocols and associated presentation ensures that the solutions and the associated knowledge demonstrated can not only be written down, but can also be applied practically.
Medienformen Media used	Labor, Rechner, Beamer Laboratory, computer, projector
Literatur Reading list	Richtet sich nach den variierenden konkret vergebenen Themen. Depends on the (changing) assignments

5767	Hardware-basierte Sicherheit Hardware-Oriented Security	PN 455381
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Katzenbeisser	
Dozent(in) Lecturer	Katzenbeisser	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Advanced IT Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse im Bereich der hardware-orientierten Sicherheit: mit diesen Verfahren können effektiv moderne Rechnerplattformen abgesichert werden. Sie lernen verschiedene Klassen von Verfahren der	

	Hardware-Sicherheit kennen und können diese auf neue Problemstellungen anwenden. — Students acquire basic knowledge of hardware-oriented cybersecurity techniques, which can be used to protect modern computing platforms. They learn various classes of hardware-security primitives and are able to apply them to new problems. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden lernen Einsatzbereiche von Techniken des der hardware-orientierten Sicherheit kennen. Sie erwerben die Fähigkeit, die besprochenen Techniken in der Praxis umzusetzen. — Students learn the application domains of techniques of hardware security. Furthermore, they acquire the abilities to apply the discussed techniques in practice. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden lernen die Sicherheit von Methoden der hardware-basierten Sicherheit zu beurteilen und die für einen Anwendungsfall geeigneten Methoden zu selektieren. — Students learn to analyze the security of hardware-based security primitives and are able to select the appropriate methods for a given problem domain.
Inhalt Course content	• Zufallszahlengeneratoren • Physically Unclonable Functions • Hardware-Trojaner • Seitenkanalangriffe gegen kryptographische Implementierungen • Trusted Platform Modules und Trusted Execution Environments • Techniken des Remote Attestation • Covert Channels • Effiziente Implementierung kryptographischer Verfahren — • True Random Number Generators • Physically Unclonable Functions • Hardware Trojans • Side channel attacks against cryptographic implementations • Trusted Platform Modules and Trusted Execution Environments • Remote Attestation techniques • Covert Channels

	• Efficient implementation of cryptographic primitives
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60 Minuten Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung jeweils in deutscher oder englischer Sprache und je nach Anzahl der Hörer. 60 minute written exam or 20 minute oral exam in German or English
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Nach Ansage in der Vorlesung Announced during the lecture

5768	Eisenbahnsicherungstechnik	PN 451008
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Katzenbeisser	
Dozent(in) Lecturer	Katzenbeisser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V	
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 60 Std. Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 30 contact hours + 60 lecture follow-up and exam preparation	
ECTS Credits	3	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundkenntnisse in zuverlässigen und sicheren Systemen Basic knowledge in reliable and secure systems	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die Grundlagen des sicheren Bahnbetriebs und hierzu verwendete technische Systeme kennen. — The students acquire a systematic understanding of the rules of safe train operation as well as technical systems that are used in that domain.	

	Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden besitzen die Fähigkeit, die Sicherheit sowie die Zuverlässigkeit von Eisenbahnsicherungsanlagen einzuschätzen und einfache Analysen selbst durchzuführen. — The students have the ability to assess the security as well as the safety of railway interlocking systems; they are able to perform simple analyses independently. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz die Sicherheitsanforderungen im Bahnbetrieb zu verstehen und diese auf neue Projekte anzuwenden. — The students have the competence to understand the safety and security requirements in railway operations and are able to apply this knowledge to new projects.
Inhalt Course content	Dieses Modul bespricht die Grundlagen des sicheren Bahnbetriebs sowie die technischen Einrichtungen, die hierzu eingesetzt werden: • Einführung in den sicheren Bahnbetrieb in Deutschland • Überblick über die in Deutschland eingesetzte Stellwerkstechnik (mechanische und elektromechanische Stellwerke, Relaisstellwerke sowie digitale Stellwerke) • Grundlagen zur Analyse der Zuverlässigkeit der eingesetzten Technologie • Grundlagen der IT-Sicherheit in der Stellwerkstechnik — This module discusses basic methods of safe train operation as well as technical systems that are used in that domain: • Introduction to safe train operation in Germany • Overview of the interlocking systems that are used in Germany (mechanical and electromechanical systems, relais-based interlocking, and digital systems) • Introduction to safety analysis for interlocking systems • Introduction to cybersecurity for interlocking systems
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Seminararbeit von ca. 10 Seiten und Vortrag (ca. 30 Minuten), ggf. in Gruppenarbeit Seminar paper of about 10 pages and oral presensation (about 30 minutes), possibly in a team
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer und Tafel Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	-

5771	Multimedia-Datenbanken Multimedia Databases	PN 405031
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kosch	
Dozent(in) Lecturer	Kosch	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 85 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 50 hrs exercises + 85 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering, Master Wirtschaftsinformatik Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering, Master Information Systems	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben Kenntnisse über Techniken der Multimediaverarbeitung und der Extraktion von beschreibenden Multimediaeigenschaften sowie Ähnlichkeitsvergleich	

	von multimedialen Medien und den Aufbau von Multimedia-Datenbankmanagementsystemen und der Programmierung von Multimedia-Datenbanken. — Students will acquire knowledge of techniques for multimedia processing and extraction of descriptive multimedia features and the development of multimedia database management systems and programming of multimedia databases. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden haben die Fähigkeit zur praktischen Spezifikation von Multimediaanfragen, Umsetzung und Optimierung von Multimediaanfragen und zum Einsatz von Multimediastandards. — Students will acquire the ability to perform practical specification of multimedia requests, implementation and optimization of multimedia queries and the use of multimedia standards. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz zur Übertragung der Datenbankkenntnisse auf Multimediadaten, Erweiterungen von SQL und Beherrschung von objekt-relationalen Konstrukten am Beispiel Multimedia, technischer Umgang mit Medien, Management von Multimediadaten im Allgemeinen. — Students will acquire the competence to transfer the database knowledge on multimedia data, extensions of SQL and mastery of object-relational constructs for multimedia, technical dealing with the media, management of multimedia data in general.
Inhalt Course content	Neue Medienstandards (hier vor allem von MPEG - MPEG-4 AVC oder von MPEG abgeleitet divX, mp3) und immer bessere Aufnahmegräte haben der medienverarbeitenden Industrie in den letzten Jahren einen großen Ruck gegeben. Neue Methoden und Werkzeuge sind entstanden, welche die Masse an aufgenommenen und gesendeten Daten verwalten können. Der Wert der Information hängt wesentlich davon ab, wie leicht die Daten gesucht und nach ihrem Inhalt verwaltet werden können. Dazu werden exklusiv Multimedia-Datenbanken eingesetzt. Die Multimedia-Suche unterscheidet sich dabei wesentlich von einer textuellen Suche. Wir unterscheiden dabei die inhaltsbasierte Suche, welche sich z.B. auf Farb-, Kontur, und Texturverteilungen für visuelle Medien stützt und Bild-zu-Bild Vergleiche ermöglicht. Präzisere Verfahren basieren auf einer Regions-basierten Suche, die versucht Teile eines Bildes oder Videos zu erkennen. Die semantische

Suche ermöglicht das Auffinden von Medien anhand der in den Medien mitspielenden Personen, oder dargestellten Orte/Ereignisse. Ein Multimedia-Datenbanksystem stellt hier die notwendigen Funktionen zur Medienmanipulation bereit und ermöglicht gleichzeitig die inhaltsbasierte und semantische Suche und dass auch in großen Datenmengen, welches durch entsprechende intelligente Indexstrukturen ermöglicht wird.
Inhaltliche Gliederung:
Content-Based Indexing und Retrieval (visuelle Medien): Farbtheorie und Darstellung, kurzer Überblick über weitere Beschreibungsmerkmale wie Textur, Kanten, Extraktion von Merkmalen Retrievalsysteme und Demos Multimediadatenmodellierung (in XML: MPEG-7)
Multimedia DBMS:
Multimedia Zugriffsstrukturen, hier vor allem die Familie der R-Trees, SS-Trees und SR-Trees
Multimedia Anfrageverarbeitung und Optimierung
Programmierung von Multimedia-DBMS
Überblick über gängige MMDB-Produkte und Forschungsprototypen
—
New media standards (here especially MPEG - MPEG-4 AVC or derived from MPEG DivX, mp3) and better recording devices in the media processing industry have been developed in recent years. New methods and tools are developed, which can manage the mass of recorded and transmitted data. The value of information largely depends on how easily the data can be searched and managed according to their content. These multimedia databases are used exclusively. The multimedia search here differs substantially from textual search. We distinguish content-based search, which for example is to enable color, contour, and texture based distributions for visual media and image-to- image comparisons. More accurate methods are based on a region -based search, which tries to identify parts of an image or video. The semantic search allows you to find media based on the fellow in the media persons, or places/events portrayed. A multimedia database system provides here the necessary functions for media manipulation and at the same time enables the content-based and semantic search and that too in large amounts of data, which is made possible due to intelligent index structures.
Content structure:
Content -Based Indexing and Retrieval (visual media): color theory and presentation, brief overview of description of features such as texture, edges, extraction of features, retrieval

	systems and demos of multimedia data modeling (in XML: MPEG -7) Multimedia DBMS: Multimedia access structures, especially the family of R-trees, SS-trees and SR- Trees Multimedia Anfrageverarbeitung and optimization Programming of multimedia DBMS Overview of common MMDB products and research prototypes
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minütige schriftliche Klausur 90-minute written examination
Medienformen Media used	Folien-orientierte Vorlesung, Tafelbenützung bei Beispielen, zusätzlichen Erläuterungen und zu erklärenden Sachverhalten: Wöchentliche Übungen in kleinen Gruppen. Dabei werden Präsenzaufgaben sowie die Musterlösungen zu den Übungsaufgaben vorgerechnet Erwartete Aktivitäten der Studierenden: Mitarbeit bei Präsenzübungen, Übungsaufgaben, selbständiges Studium von sekundärer Literatur Folienskript ist vorhanden und über Stud.IP zugänglich. — Slides-oriented lecture, panel use with examples, additional explanations and explanatory facts: Weekly tutorials in small groups. The presence tasks and the sample solutions are precalculated to the exercises Expected activities of students: Participation in compulsory and voluntary tutorials, independent study of secondary literature Slide script is accessible and available through Stud.IP
Literatur Reading list	Harald Kosch: "Distributed Multimedia Database Technologies supported by MPEG-7 and MPEG-21", CRC Press, November 2003, ISBN 0-8493-1854-8 Klaus Meyer-W egener: „Multimediale Datenbanken- Einsatz von Datenbanktechnik in Multimedia-Systemen", 2. Auflage 2004, Teubner Verlag, ISBN 3-519-12419-X.

5772 Data Modelling and Data Processing in the Internet of Things	PN 455386
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kosch
Dozent(in) Lecturer	Kosch, Käbisch
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	30 + 15 Std. Präsenz + 105 Std. Übungsaufgaben, Vor- und Nachbereitung 30 + 15 contact hours + 105 hrs exercises, independent study and exam preparation
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Grundlagen der aktuellen Datenmodellierungs-Ansätze und deren Verarbeitung im Kontext der Internet of Things (IoT) Domäne. Sie können Datenmodelle von beteiligten IoT Systemen beschreiben und wenden

	Techniken an, um diese zu verarbeiten und zu interpretieren, um u.a. eine Interaktion zu anderen IoT Systemen zu ermöglichen (Plug&Play). Sie kennen den Einsatz von standardisierten (semantischen) Web-Technologien im Umfeld von W3C Web of Things (WoT) und können aktuelle Anwendungen in verschiedenen Bereichen der Industrie, u.a. Automatisierung, Energie- und Verkehrssysteme an Hand ihrer Services beschreiben. — Students gain an understanding of the basics of current data modeling approaches and their processing in the context of the Internet of Things (IoT) domain. They are able to describe data models of participating IoT systems and apply techniques to process and interpret them, for example, to enable interaction with other IoT systems (Plug&Play). They will be familiarized with the use of standardized (semantic) web technologies in the context of the W3C Web of Things (WoT) and can describe current applications in various areas of industry, including automation, energy and transport systems through their services. Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer können grundlegende Ansätze der Datenmodellierung für Internet of Things-Systeme implementieren. Sie sind befähigt Servicebeschreibungen für konkrete Fragestellungen und Anwendungen im Web of Things zu verfassen. — Participants will be equipped to implement fundamental approaches to data modeling for Internet of Things systems. They will be able to write service descriptions for concrete questions and applications in the Web of Things. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erlernen grundlegende und praktische Kompetenzen in der Konzeption von IoT-Systemen und mit den Technologie Blöcken der W3C Web of Things, sowie in der Anwendung mit semantischen Web-Technologien. — Students learn basic and practical skills in the design of IoT systems, the technology blocks of the W3C Web of Things, as well as in the application of semantic web technologies.
Inhalt Course content	Internet-of-Things (IoT)-Systeme sammeln und agreggieren Sensordaten von physischen Produkten. Damit können Steuerungen optimiert, innovative Services angeboten und neue Geschäftsmodelle entwickelt werden. IoT-Systeme brauchen ein intelligentes Datenkonzept und Datenmanagement, das neben dem Sammeln und Agreggieren auch das Auswerten der Sens-

	ordaten berücksichtigt. Die Vorlesung gliedert sich in drei Teilen: 1. Einführung in IoT und verschiedene Web Technologien relevant für IoT-Systeme • IoT Systeme, u.a., Mikrokontroller • IoT Frameworks and Architectures (e.g., Vorto) • JSON, JSON Schema, RDF, JSON-LD 1.1 • IoT Datastores, u.a von IoT Cloud Systemen 2. Datenmodellierungstechnologien für die IoT • WoT Building Blöcke: Thing Model, Thing Description und Binding Templates • Semantische Modellierung (Kontexterweiterung) 3. Datenverarbeitungsmechanismen im IoT • WoT API • Discovery • Security • Datenkodierung • Datenverarbeitung — Internet-of-Things(IoT) systems collect and aggregate sensor data from physical products. This enables control systems to be optimised, innovative services to be offered and new business models to be developed. IoT systems require an intelligent data concept and management that takes into account not only the collection and agregation but also the evaluation of sensor data. The lecture is divided into 3 parts: 1. Introduction to IoT and different web technologies relevant for IoT systems • IoT Systems, such as, microcontroller • IoT Frameworks and Architectures (e.g., Vorto) • JSON, JSON Schema, RDF, JSON-LD 1.1 • IoT Datastores, such as from IoT Cloud Systems 2. Data Modeling technologies for IoT • WoT Building Blocks: Thing Model, Thing Description and Binding Templates • Semantic Modeling (Context Extension) 3. Data processing mechanisms in IoT • WoT API • Discovery • Security • Data coding • Data processing
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters

	bekannt gegeben. 90-minute written or 20-minutes oral examination; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor Projector presentation
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird Wird vom Dozenten zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben. To be announced by the lecturer. The literature will be announced by the lecturer at the beginning of the lecture.

5773	Implementierung von Datenbanksystemen Implementation of Database Systems	PN 405069
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Modul wird nicht mehr angeboten Module no longer offered	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kosch	
Dozent(in) Lecturer	Kosch	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 65 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 65 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben vertiefte Kenntnisse über Systeminterna und Implementierung von Datenbanksystemen. — Students acquire in-depth knowledge of system internals and	

	implementation of database systems. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden haben die Fähigkeit, Datenbank-Tuning in der Praxis durchzuführen. — Students will acquire the ability to database tuning in practice. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz, die Systemsicht eines Datenbanksystems einzunehmen und zukünftige Entwicklungen im Datenbankbereich zu beurteilen. — Students will have the competence to take the system point of view of a database system and to assess future developments in the database area.
Inhalt Course content	Diese Vorlesung soll einen Überblick über aktuelle Konzepte der Implementierung von Datenbanksystemen (DBS), insbesondere relationaler Datenbanken geben. Dabei wird zunächst auf allgemeine Anforderungen an Datenbanksysteme eingegangen, ehe verschiedene Datenzugriffsmethoden vorgestellt werden. Darauf aufbauend werden verschiedene Ansätze der relationalen Anfrageoptimierung, der Viewbearbeitung, sowie der Fehlerbehandlung und -erholung beschrieben. Abschließend werden die vorgestellten Konzepte auf verteilte Datenbanksysteme angepasst, indem die bisher entwickelten Datenstrukturen und Algorithmen hinsichtlich der Anforderungen der Verteilung erweitert werden. Details aktueller Datenbanksystemversionen, Oracle, IBM DB2 werden in speziellen Kapiteln behandelt. In den begleitenden Übungen werden die verschiedenen Konzepte an Beispielen vertieft und die Umsetzung in aktuellen DBS diskutiert. Im praktischen Teil der Übungen wird das Datenbank-Tuning vorgestellt, d.h., die Optimierung eines Datenbanksystems für verschiedene Anwendungen und Systemparameter. Administrative Grundlagen werden vermittelt. Inhaltliche Gliederung: Architekturen von DBS Blockorientierte Zugriffsschnittstelle, E/A-Architekturen und Speicherhierarchien Speichertechnologie Externspeicherverwaltung, DBS-Pufferverwaltung Datensatzorientierte Zugriffsschnittstelle Speicherungsstrukturen für Datensätze und Objekte Indexstrukturen, u.a., B-Baum Familie, Hashing, multidimensionale Indexstrukturen Mengenorientierte Zugriffsschnittstelle Anfragebearbeitung und Optimierung Verteilte Datenbanksysteme Details aktueller Datenbanksystemversionen, Oracle und IBM

	DB2 — This lecture will provide an overview of current concepts in implementation of database systems (DBS), particularly relational databases. It first discusses general requirements for database systems before different data access methods are presented. Different approaches to relational query optimization, the view editing, and error handling and recovery are described. Finally, the concepts presented in distributed database systems will be adapted to the previously developed data structures and algorithms and extended with respect to the requirements of the distribution. Details of current database system versions, Oracle, IBM DB2 are treated in special chapters. In the accompanying tutorials, the various concepts with examples will be presented and the implementation in current DBS will be discussed. In the practical part of the tutorials the database tuning will be presented, ie, the optimization of a database system for various applications and system parameters. Administrative basics are taught. Content structure: Architectures of DBS block-oriented access interface, I/O architectures and memory technology memory hierarchies, external memory management, DBS buffer management, record -oriented access interface, storage structures for records and objects Index structures, e.g. B- tree family, hashing, multidimensional index structures Quantity -based access interface query processing and optimization of Distributed Database Systems Details of current database system versions, Oracle and IBM DB2
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min schriftliche Klausur 90-minute written examination
Medienformen Media used	Folien-orientierte Vorlesung, Tafelbenützung bei Beispielen, zusätzlichen Erläuterungen und zu erklärenden Sachverhalten: Wöchentliche Übungen in kleinen Gruppen. Dabei werden Präsenzaufgaben sowie die Musterlösungen zu den Übungsaufgaben vorgerechnet Erwartete Aktivitäten der Studierenden: Mitarbeit bei Präsenzübungen, Übungsaufgaben, selbständiges Studium von sekundärer Literatur Folienskript ist vorhanden und über Stud.IP zugänglich. — Slides-oriented lecture, panel use with examples, additional explanations and explanatory facts: Weekly tutorials in small

	groups. The presence tasks and the sample solutions are pre-calculated to the exercises Expected activities of students: Participation in compulsory and voluntary tutorials, independent study of secondary literature Slide script is accessible and available through Stud.IP
Literatur Reading list	Theo Härder, Erhard Rahm: „Datenbanksysteme: Konzepte und Techniken der Implementierung", 2. Auflage, Springer Verlag, 2001, ISBN 3-540-65040-7.

5777 Technologien zur Wahrung der Privatsphäre in Informationssystemen Privacy-Preservation Technologies in Information Systems	PN 472215
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kosch
Dozent(in) Lecturer	Gerl
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	30 + 15 Std. Präsenz, 105 Std. Übungen, Nachbereiten des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 30 + 15 contact hours, 105 hours of exercises, independent study and exam preparation
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Konzepte der Technologien zur Wahrung der Privatsphäre in Informationssystemen. Sie kennen auch die rechtlichen Grundlagen des Da-

tenschutzes in Europa (GDPR), welche den technischen Möglichkeiten gegenübergestellt werden. Die Studierenden kennen die Unterschiede zwischen Privatsphäre und Anonymität, kennen Prinzipien für Angriffe auf die Privatsphäre und die Anonymität und Methoden zur Wahrung dieser. Die Studierenden kennen die besonderen Rahmenbedingungen in relevanten Anwendungsfällen für Informationssysteme, wie z.B. medizinische Informationssysteme oder Data Warehouses.

—

The students know the core concepts of technologies used for the protection of privacy in information systems. The students also know the legal basis of data protection in Europe (GDPR), which is contrasted to the technical possibilities. The students know the differences between privacy and anonymity, know principles for attacks on privacy and anonymity and methods to protect them. The students know the special requirements in relevant use cases for information systems, such as medical information systems or data warehouses.

Fähigkeiten / Abilities

Die Studierenden der Lehrveranstaltung beherrschen die Auswahl und Anwendung von geeigneten Methoden zum Schutz der Privatsphäre und Anonymität in Informationssystemen unter Berücksichtigung der spezifischen Rahmenbedingungen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Sie sind befähigt Datenschutz-Risiken in Informationssystemen festzustellen und zu bewerten.

—

The students of the course master the selection and application of suitable methods for the protection of privacy and anonymity in information systems, taking into account the specifics of the information system and legal requirements. The students are able to determine and evaluate data protection risks in information systems.

Kompetenzen / Competencies

Die Teilnehmer verstehen die Grundlagen des technischen Datenschutzes, insbesondere Methoden zur Anonymisierung, Pseudonymisierung und Privacy Modelle. Auch verstehen die Teilnehmer die rechtlichen Grundlagen in Europa für Datenschutz - die General Data Protection Regulation (GDPR). Die Teilnehmer können geeignete Methoden für unterschiedliche Informationssysteme auswählen und unter Beachtung der spezifischen Rahmenbedingungen anwenden.

—

The participants understand the basics of technical data protection, in particular methods of anonymization, pseudonymi-

	zation and privacy models. The participants also understand the legal basis for data protection in Europe - the General Data Protection Regulation (GDPR). The participants can select suitable methods for different information systems and apply them taking into account the specific framework conditions.
Inhalt Course content	Die Wahrung der Privatsphäre und Anonymität ist ein Themenbereich, welcher sowohl durch technische als auch durch rechtliche Rahmenbedingungen beeinflusst wird. Die Vorlesung behandelt diese Rahmenbedingungen im Kontext von Informationssystemen. Im ersten Teil der Vorlesung werden die grundlegenden Konzepte und Methoden vermittelt. Im zweiten Teil der Vorlesung werden unterschiedliche Anwendungsfälle in Informations-systemen mit spezifischen Anonymitäts- und Privatsphäre-Rahmenbedingungen erläutert. 1. Grundlagen von Privacy-Preservation • Rechtliche Grundlagen in Europa (GDPR) • Anonymität und Privatheit • Grundlagen der Datenhaltung in Informationssystemen • Privacy-Preserving Methoden (Anonymisierung, Privacy Modelle) • Tradeoff zwischen Privacy und Utility 2. Anwendungsfälle • Medizinische Forschungsdaten – Hippocratic Datenbanken und Purpose-based Access Control – Pseudonymisierung • Data Warehouse – Anonymisierungsstrategien – Anfrage-basierte Anonymisierung • Soziale Netzwerke – Datenschutzanforderungen an Soziale Netzwerke – Privacy-Preservation für Graph-Daten — Preserving privacy and anonymity is a topic area that is influenced by both technical and legal conditions. The lecture discusses these conditions in the context of information systems. In the first part of the lecture the basic concepts and methods are conveyed. In the second part of the lecture, different use cases in information systems with specific anonymity and privacy frameworks are detailed. 1. Basics of privacy preservation • Legal basis in Europe (GDPR) • Anonymity and privacy • Basics of data management in information systems • Privacy-preserving methods (anonymization, privacy

	models) • Tradeoff between privacy and utility 2. Use Cases • Medical research data – Hippocratic databases and purpose-based access control – Pseudonymization • Data warehouse – Anonymization strategies – Query-based anonymization • Social networks – Data protection requirements for social networks – Privacy preservation for graph data
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or 20-minutes oral examination; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor Presentation with projector
Literatur Reading list	Die Literatur wird vom Dozenten zu Beginn der Vorlesung bekanntgegeben. The literature will be announced by the lecturer at the beginning of the lecture.

5780	Computeralgebra Computer Algebra	PN 455358
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kreuzer, Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Kreuzer, Sauer	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 75 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 75 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I und II Linear Algebra I and II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Lehramt Mathematik Gymnasium Master Computational Mathematics, Teacher training programme for secondary education in Mathematics (Gymnasium)	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Algorithmen der Computeralgebra, insbesondere die Methoden und Anwendun-	

	gen der Gröbner-Basen. Neben den theoretischen Grundlagen sind sie auch mit konkreten Implementationen dieser Algorithmen vertraut. — The students know the basic algorithms of computer algebra, in particular the methods and applications of Gröbner bases. In addition to the theoretical foundations they are familiar with concrete implementations of these algorithms. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können wichtige Methoden der Computeralgebra selbständig in einem Computeralgebrasystem implementieren. Sie sind in der Lage, für konkrete Fragestellungen geeignete Algorithmen zu finden oder zu entwickeln, deren Korrektheit zu beweisen und deren Effizienz einzuschätzen. — Students can implement important methods of computer algebra independently in a computer algebra system. You are able to find or to develop suitable algorithms for specific questions, to prove their correctness, and evaluate their efficiency. Kompetenzen / Competencies Die Studenten erwerben evaluative Kompetenzen in Bezug auf die Verknüpfung der theoretischen Inhalte ihres Studiums mit praxisnahen Problemstellungen, organisatorische Kompetenzen in Bezug auf ihr Zeit- und Arbeitsmanagement, sowie selbstreflexive Kompetenzen in Bezug auf interdisziplinäre Verbindungen zwischen der theoretischen Informatik und der algorithmischen Mathematik. — The students acquire evaluative skills in relation to the link between the theoretical content of their studies with practical problems, organizational skills in relation to their time and work management as well as self-reflective skills in relation to interdisciplinary connections between theoretical Computer Science and computational mathematics.
Inhalt Course content	Die Vorlesung beginnt mit der Diskussion der den modernen Verfahren der Computeralgebra zu Grunde liegenden mathematischen Strukturen (Zahlbereiche, Polynome) und ihrer effektiven Implementation. Darauf aufbauend erhalten die Studierenden eine Einführung in die Methode der Gröbner-Basen und lernen die wichtigsten algorithmischen Anwendungen dieser Methode kennen. Schließlich werden die Algorithmen auf konkrete Berechnungsprobleme (z.B. die Lösung von Gleichungssystemen) angewendet. — The lecture begins with a discussion of the past to modern me-

	thods of computer algebra underlying mathematical structures (number ranges polynomials) and their effective implementation. Based on this, students receive an introduction to the method of Groebner bases and learn the most important algorithmic applications of this method. Finally, the algorithms are applied to concrete computational problems (e.g. the solution of systems of equations).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Abschlussklausur oder ca. 30 Minuten mündliche Prüfung (wird am Anfang der Veranstaltung mitgeteilt) 120-minute written examination or 30-minute oral examination (the mode of assessment will be announced at the start of the semester)
Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Beamer-Präsentation Blackboard, Projector presentation
Literatur Reading list	M. Kreuzer und L. Robbiano, Computational Commutative Algebra 1, Springer, Heidelberg 2000

5781	Algorithmische Algebraische Geometrie Computational Algebraic Geometry	PN 405154
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kreuzer	
Dozent(in) Lecturer	Kreuzer	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I und II, Computeralgebra Linear Algebra I and II, Computer Algebra	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die wichtigsten Konzepte und Methoden der algorithmischen algebraischen Geometrie sind den Studierenden bekannt. Fundamentale Algorithmen und Beweistechniken der algebraischen Geometrie und der kommutativen Algebra sowie deren	

	Anwendungen sind ihnen geläufig. — The main concepts and methods of algorithmic algebraic geometry will be covered. Fundamental algorithms and proof techniques of algebraic geometry and commutative algebra and their applications will be covered. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können algebraisch-geometrische Sachverhalte und Fragestellungen in die Sprache der kommutativen Algebra übersetzen und sie für eine algorithmische Beantwortung aufbereiten. Die Studierenden sind in der Lage, ein Computeralgebrasystem anzuwenden um Probleme aus der algebraischen Geometrie zu lösen oder Beispielberechnungen durchzuführen. — Students will be able to translate algebraic- geometric facts and issues in the language of commutative algebra and prepare for an algorithmic solution. Students will be able to use a computer algebra system to solve problems in algebraic geometry or perform sample calculations. Kompetenzen / Competencies Die Studenten erwerben evaluative Kompetenzen in Bezug auf die Verknüpfung der theoretischen Inhalte ihres Studiums mit praxisnahen Problemstellungen, organisatorische Kompetenzen in Bezug auf ihr Zeit- und Arbeitsmanagement, sowie selbstreflexive Kompetenzen in Bezug auf interdisziplinäre Verbindungen zwischen der theoretischen Informatik und der algorithmischen Mathematik. — The students acquire evaluative skills in relation to the link between the theoretical content of their studies with practical problems, organizational skills in terms of their time and labor management, and self-reflective skills in relation to interdisciplinary connections between the theoretical Computer Science, and computational mathematics.
Inhalt Course content	Als Grundlage für alle weiteren Inhalte wird der Hilbertsche Nullstellensatz ausführlich besprochen und bewiesen. Die wesentlichen Techniken zur Übersetzung geometrischer Fragestellungen in algebraische und umgekehrt werden damit eingeführt. Dann werden die theoretischen Grundlagen aus der kommutativen Algebra bereitgestellt (z. B. Hilbertscher Basissatz, graduierte Ringe und Modulen, Hilbert-Funktionen) und damit wichtige Objekte der algebraischen Geometrie (z. B. algebraische Kurven und Flächen, projektive Varietäten, endliche Punktmengen) studiert.

	In den Übungen werden die Algorithmen und Verfahren mittels eines geeigneten Computeralgebrasystems (z. B. CoCoA) in explizite Computerprogramme umgesetzt und damit konkrete Berechnungsaufgaben der algorithmischen algebraischen Geometrie gelöst. — As a basis for all other contents, Hilbert's theorem of zeros is discussed and proved in detail. The main techniques for translation of geometric problems into algebraic and vice versa are introduced. Then the theoretical foundations of the commutative algebra are provided (e.g. Hilbert basis theorem, graduated rings and modules, Hilbert functions) and thus important objects of algebraic geometry (e.g. algebraic curves and surfaces, projective varieties studied finite point sets). In the tutorials, the algorithms and methods by means of a suitable computer algebra system will be implemented (e.g. CoCoA) in explicit computer programs and thus solved for specific calculation tasks of algorithmic algebraic geometry.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Abschlussklausur 120-minute final written examination
Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Beamer-Präsentation Blackboard, Projector presentation
Literatur Reading list	M. Kreuzer und L. Robbiano, Computational Commutative Algebra 2, Springer, Heidelberg 2005

5782	Kryptographie Cryptography	PN 401816
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	In der Regel jedes 2. Semester Usually every other semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kreuzer, Zumbrägel, Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Kreuzer, Zumbrägel, Sauer	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ oder „AlgMath“ Focus „IT-SecRel“ or „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 60 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I Linear Algebra I	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Lehramt Mathematik Gymnasium Master Computational Mathematics, Teacher training programme for secondary education in Mathematics (Gymnasium)	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen wichtige symmetrische und Public-Key Kryptosysteme. Sie sind mit der Sicherheitsanalyse sol-	

	cher Systeme vertraut. Insbesondere kennen die Studenten die sicherheitsrelevanten Aspekte des RSA-Kryptosystems. Ferner wissen die Studierenden, wie man kryptographische Systeme in Protokolle eingliedert und kennen wichtige kryptographische Protokolle sowie deren Kryptoanalyse. — The students know important symmetric and public-key cryptosystems. You are familiar with the safety analysis of such systems. In particular, the students know the safety aspects of the RSA cryptosystem. Furthermore, the students know how to integrate cryptographic systems and protocols know important cryptographic protocols and their cryptanalysis. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können die Sicherheit eines Kryptosystems untersuchen und einschätzen. Für konkrete Anforderungen können sie geeignete Kryptosysteme und kryptographische Protokolle bestimmen und auf ihre sichere Verwendbarkeit testen. Sie verstehen die mathematischen Grundlagen der modernen Kryptographie und beherrschen einfache Beweise und Anwendungen dieser Theorie. — Students can examine and assess the security of a cryptosystem. For specific requirements, they can determine suitable cryptosystems and cryptographic protocols and test their usability safe. They understand the mathematical foundations of modern cryptography and master simple proofs and applications of this theory. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben evaluative Kompetenzen in Bezug auf die Verknüpfung der theoretischen Inhalte ihres Studiums mit praxisnahen Problemstellungen, organisatorische Kompetenzen in Bezug auf ihr Zeit- und Arbeitsmanagement, sowie selbstreflexive Kompetenzen in Bezug auf interdisziplinäre Verbindungen zwischen den Fragen der IT-Sicherheit und der zugehörigen informationstheoretischen und algorithmischen Grundlagen. — The students acquire evaluative skills in relation to the link between the theoretical content of their studies with practical problems, organizational skills in relation to their time and work management, and self-reflective skills regarding interdisciplinary connections between the issues of IT security and the associated information theory and algorithmic foundations.
Inhalt Course content	Basierend auf einer Darstellung der historischen Wurzeln und Vorgänger werden moderne kryptographische Systeme vorge-

	stellt und analysiert. Dabei kommen sowohl symmetrische Verfahren (z. B. V igenere, DES, AES) als auch Public-Key Verfahren (z. B. RSA, ElGamal, elliptische Kurven Systeme) nicht zu kurz. Diese kryptographischen Bausteine werden einer sorgfältigen Kryptoanalyse unterzogen und dann in Protokolle zur Erledigung wichtiger kryptographischer Aufgaben eingebaut: Authentifikation, Signatur, geheime Nachrichtenübermittlung, Secret Sharing, Zero-Knowledge Beweise etc. Auch diese Verfahren werden ausführlich analysiert und wichtige Angriffs- und Schutzmechanismen untersucht. — Based on a description of the historical roots and predecessors modern cryptographic systems are presented and analyzed. Both symmetric algorithms (e.g. Vigenere, DES, AES) and public-key methods (such as RSA, ElGamal, elliptic curve systems) can not be neglected. These cryptographic modules are subjected to careful cryptanalysis and then incorporated into protocols for completion of important cryptographic tasks: authentication, signature, secret communications, secret sharing, zero-knowledge proofs, etc. These processes are analyzed in detail and major attack and protection mechanisms are examined.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Approx. 20-minute oral or 90-minute written examination (the mode of assessment will be announced at the start of the semester).
Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Beamer-Präsentation Blackboard, Projector presentation
Literatur Reading list	D. Wätjen, Kryptographie, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg 2008

5784	Codierungstheorie Coding Theory	PN 463030
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kreuzer	
Dozent(in) Lecturer	Kreuzer	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 60 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I Linear Algebra I	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen den Aufbau und die Konstruktion linearer Codes und sind mit wichtigen Beispielklassen vertraut. Den Studierenden sind die mathematischen Grundlagen der Codierungstheorie bekannt, einschließlich der verwendeten al-	

	gorithmischen Techniken und wichtiger Beweisverfahren. — Students know the structure and design of linear codes, and are familiar with important classes of examples. The students know the mathematical foundations of coding theory, including algorithmic techniques and important proof method used. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, für praktische Anwendungen geeignete Codierungsverfahren zu bestimmen und auf ihre Korrektheit hin zu untersuchen. Sie können verschiedene Codierungsverfahren am Computer implementieren und auf ihre Effizienz analysieren. Sie sind in der Lage, grundlegende Berechnungsaufgaben selbständig zu bearbeiten und einfache Beweise zu führen. — Students are able to determine appropriate encoding methods and examine their correctness for practical applications. You can implement different encoding methods on a computer and analyze their efficiency. You are able to edit basic computation tasks independently and perform simple proofs. Kompetenzen / Competencies Die Studenten erwerben evaluative Kompetenzen in Bezug auf die Verknüpfung der theoretischen Inhalte ihres Studiums mit praxisnahen Problemstellungen, organisatorische Kompetenzen in Bezug auf ihr Zeit- und Arbeitsmanagement, sowie selbstreflexive Kompetenzen in Bezug auf interdisziplinäre Verbindungen zwischen der modernen Datentechnik, der theoretischen Informatik und der algorithmischen Mathematik. — The students acquire evaluative skills in relation to linking the theoretical contents of their studies with practical problems, organizational skills in relation to their time and work management, and self-reflective skills in relation to interdisciplinary connections between the modern information technology, theoretical Computer Science and computational mathematics.
Inhalt Course content	Basierend auf der Einführung des grundlegenden Modells eines binären symmetrischen Übertragungskanals werden insbesondere Grundbegriffe wie Datenrate, Fehlerkorrektur und -kapazität, Hamming-Abstand und lineare Codes diskutiert. Für letztere werden wichtige Schranken wie die Singleton-Schranke bewiesen und bedeutende Beispielklassen vorgestellt, z.B. Hamming-Codes, zyklische Codes, BCH und Reed-Solomon-Codes. Neben der Diskussion der Eigenschaften und

	Parameter dieser Codes werden auch Verfahren bereitgestellt wie man weitere, an eine Anwendung angepasste, Codes aus den bekannten erzeugen kann. Die Studenten erhalten auch einen Einblick in moderne geometrische Methoden der Codierungstheorie, z.B. Reed-Muller Codes und Goppa-Codes. Ferner werden die Codes in den Übungen in einem Computeralgebrasystem (z.B. CoCoA) konkret implementiert und an praxisnahen Beispielen getestet. — Based on the introduction of the basic model of a binary symmetric transmission channel, in particular basic concepts such as data rate, error correction, and - capacity, Hamming distance and linear codes are discussed. For the latter, important barriers are shown as the Singleton bound and presented significant sample classes, e.g. Hamming codes, cyclic codes, Reed-Solomon and BCH codes. Besides the discussion of the properties and parameters of these codes also methods are provided on how to generate more codes adapted to an application from the known. The students also get an insight into modern geometrical methods of coding theory, e.g. Reed-Muller codes and Goppa codes. Furthermore, the codes are actually implemented in the tutorials in a computer algebra system (e.g. CoCoA) and tested on practical examples.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Abschlussklausur 90-minute final written examination
Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Beamer-Präsentation Blackboard, Projector presentation
Literatur Reading list	J.H. van Lint, Introduction to Coding Theory, Springer, New York 1982

5790 Struktur und Implementierung von Programmiersprachen PN 405010	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Größlinger
Dozent(in) Lecturer	Größlinger
Sprache Language of instruction	Deutsch German
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 60 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	7
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden sind mit den Techniken der syntaktischen und semantischen Sprachbehandlung von Übersetzern und Interpretern vertraut. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, prototypische sprachverar-

	beitende Systeme eigenständig zu erstellen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, Software Entwicklungsarbeiten mit der Erstellung kleinerer, domänenspezifischer Programmiersprachen zu unterstützen oder Anpassungen an größeren sprachverarbeitenden Systemen vorzunehmen.
Inhalt Course content	Behandlung der verschiedenen Phasen eines Übersetzers: Scanning (Erstellung eines Tokenstroms), Parsing (Erstellung eines Parsebaums), semantische Analyse (vornehmlich Typüberprüfung), Zwischencodegenerierung und –optimierung, Aufgaben des Laufzeitsystems (vornehmlich Speicherzugriff und -verwaltung).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur (zur Klausurzulassung Bearbeitung von Übungen) 90-minute examination
Medienformen Media used	Beamer, Tafel, Overheadprojektor Projector, blackboard
Literatur Reading list	Aho, Lam, Sethi, Ullman: Compilers - Principles, Techniques and Tools. Addison-Wesley.

5791	Funktionale Programmierung Functional Programming	PN 405053
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Griebl, Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Griebl, Fraser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden sind mit dem Paradigma der funktionalen Programmierung vertraut und können es anwenden und anderen Programmierparadigmen, insbesondere dem der imperativen Programmierung, gegenüberstellen.	

	— The students will be familiar with the paradigm of functional programming and can apply it for other programming paradigms, particularly the imperative programming face. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, funktionale Programme zu schreiben und die Theorie der funktionalen Programmierung zur Optimierung von Programmen zu nutzen. Insbesondere haben sie detaillierte Kenntnis der Programmiersprache Haskell. — Students will be able to write functional programs and to use the theory of functional programming for optimization of programs. In particular, they will have detailed knowledge of the programming language Haskell. Kompetenzen / Competencies Mit der funktionalen Programmierung erschließt sich den Studierenden ein wichtiges, weiteres Programmierparadigma (neben der imperativen und objektorientierten Programmierung). Die Studierenden sind in der Lage, dieses artgerecht einzusetzen und somit ihren Software-Entwurfsaufgaben effizienter und verlässlicher gerecht zu werden. — Functional programming opens up an important additional programming paradigm (next to the imperative and object-oriented programming) to students. They will be able to meet their software design tasks more efficiently and reliably.
Inhalt Course content	Grundkonzepte der Programmiersprache; theoretische Grundlagen des Lambda-Kalküls; Programmierung mit Kombinatoren (Operatoren, mit denen Programme kombiniert werden können); Programmbeweise und -herleitungen; Transformationsgesetze (zur Optimierung von Programmen); Monaden (zur quasi- imperativen Programmierung in Haskell) — Basic concepts of programming, theoretical foundations of the lambda calculus; programming with combinators (operators with which programs can be combined); program proofs and derivations; transformation laws (for optimizing programs); monads (for quasi-imperative programming in Haskell)
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min. Klausur 90-minute written examination

Medienformen Media used	Beamer, Tafel, Overheadprojektor Projector, blackboard, overhead projector
Literatur Reading list	Folien / Lecture slides Simon Thompson: Haskell: The Craft of Functional Programming, Addison-Wesley Diverse andere Quellen / diverse other sources

5795	Virtuelle Maschinen und Laufzeitsysteme Virtual Machines and Runtime Systems	PN 405197
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Größlinger	
Dozent(in) Lecturer	Größlinger	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Teilnehmer kennen die unterschiedlichen Typen von virtuellen Maschinen und deren Einsatzgebiete, sowie verschiedene Implementierungsmethoden. Die Teilnehmer kennen gängige Optimierungs- und Profilingtechniken, sowie die Grundlagen	

	der Speicherbereinigung und Ausnahmebehandlung. Außerdem kennen sie das C-Laufzeitsystem und seine Eigenschaften im Hinblick auf Virtualisierung und gemeinsamer Betriebsmittelnutzung. Fähigkeiten / Abilities Die erfolgreichen Teilnehmer können eine virtuelle Maschine für einen gegebenen Befehlssatz implementieren, sowohl mittels eines Interpreters als auch eines Just-In-Time-Compilers. Die Teilnehmer beherrschen wichtige Optimierungs-techniken der Just-In-Time-Kompilation und können diese umsetzen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden werden in die Lage versetzt, Einsatzgebiete für virtuelle Maschinen zu erkennen, die Vor- und Nachteile verschiedener Typen von virtuellen Maschinen für einen gegebenes Einsatzgebiet unter verschiedenen Aspekten zu beurteilen und einen geeigneten Typ von virtueller Maschine auszuwählen. Weiterhin können die Teilnehmer Optimierungspotenziale beim Einsatz virtueller Maschinen beurteilen.
Inhalt Course content	Grundlagen der Virtualisierung Speicherverwaltung und gemeinsame Betriebsmittelnutzung im C-Laufzeitsystem Typen von virtuellen Maschinen Implementierungstechniken für virtuellen Maschinen, Speicherbereinigung und Ausnahmebehandlung Profiling und Optimierung der Programmausführung in einer virtuellen Maschine
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur 90-minute examination
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer und Tafel, Übungsaufgaben Projector presentation and blackboard, exercises
Literatur Reading list	J. Smith, R. Nair, Virtual Machines: Versatile Platforms for Systems and Processes, Morgan Kaufmann, 2005 Eigene Vorlesungsfolien / Lecture slides

5796	Domänenspezifische Sprachen Domain-Specific Languages	PN 405204
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Größlinger	
Dozent(in) Lecturer	Größlinger	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder English German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung I + II, Grundlagen der Informatik Programming I + II, Fundamentals of Computer Science	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Einsatzgebiete sowie Vor- und Nachteile domänenspezifischer Sprachen (DSLs) und Techniken zur Implementierung von DSLs. —	

	Students will be familiar with the application fields, advantages and disadvantages of domain-specific languages (DSLs) and techniques for implementing DSLs. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden haben die Befähigung, DSLs anzuwenden, Compiler/Interpreter (inkl. Optimierer) für DSLs mit verschiedenen Ansätzen zu implementieren sowie DSLs im Software-Engineering vorteilhaft einzusetzen. — Students will have the ability to implement DSLs compiler/interpreter (including optimizer) for DSLs with different approaches and DSLs in software engineering used advantageously. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erkennen Anwendungsfälle, die für DSLs geeignet sind, entwickeln ggf. eine geeignete DSL und implementieren diese mit aktuellen Technologien. — Students acquire the skills to identify use cases that are suitable for DSLs, possibly develop a suitable DSL and implement this with current technologies.
Inhalt Course content	Abgrenzung zwischen DSLs und universellen Programmiersprachen, Beispiele für DSLs (u.a. eingebetteter Parser, SQL, C++ Templates, UML, XML, GUI- Beschreibungssprachen). Anwendungsgebiete von DSLs, u.a. Software-Engineering (Beziehung u.a. zu UML, Model-Driven Architecture, „Language Workbenches“, Intentional Programming), visuelle Programmierung, Compilerbau, Hochleistungsrechnen. Kosten-Nutzen-Abwägung beim Einsatz von DSLs, „gutes“ Design von DSLs. Kritische Diskussion der Vor- und Nachteile des Einsatzes von DSLs. Implementierung von DSLs als interne und externe Sprache. Herausforderungen bei der Implementierung von DSLs (u.a. semantische Analyse, Fehlermeldungen), Implementierung domänenspezifischer Optimierer und Codegeneratoren. — Demarcation between DSLs and purpose programming languages, examples of DSLs (including embedded parsers, SQL, C++ templates, UML, XML, GUI description languages). Applications of DSLs, among others, Software engineering (relationship among other things to UML, Model-Driven Architecture, "Language WorkbenchesÏntentional Programming), visual programming, compilers, and high performance computing.

	Cost-benefit assessment in the use of DSLs, "good"design of DSLs. Critical discussion of the advantages and disadvantages of the use of DSLs. Implementation of DSLs as internal and external language. Challenges in the implementation of DSLs (e.g. semantic analysis, error messages), implementation of domain-specific optimizer and code generators.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur 90-minute examination
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Blackboard, Projector presentation, overhead projector
Literatur Reading list	Vorlesungsfolien / Lecture slides Domain-specific languages. Martin Fowler, Addison-Wesley, 2011

5800	Mixed Reality	PN 405216
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Grubert	
Dozent(in) Lecturer	Grubert	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder English German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 105 Std. Übungsaufgaben, Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 105 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	SEP oder MES Praktikum, Bildverarbeitung, Programmierung in Java oder Programmierung 1+2, Grundlagen der Mensch-Maschine-Interaktion SEP or MES Practical, Image Processing, Programming in Java or Prorgramming 1+2, Basics of Human-Computer-Interaction	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen Grundlagen und Anwendungen von	

	Mixed Reality Systemen. Insbesondere sind die Studierenden befähigt Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Augmented Reality und Virtual Reality Systemen, sowie artverwandten Techniken zu erklären. Weiterhin können Registrierungs- und Trackingverfahren, Displaysysteme, Renderingalgorithmen und Interaktionsmethoden charakterisiert werden. Besonderheiten der mobilen Augmented Reality und immersiver Virtual Reality erklärt werden. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden beherrschen theoretische und praktische Fragestellungen von Mixed Reality Systemen. Insbesondere sind sie befähigt ein rudimentäres Augmented Reality Systeme bestehend aus Tracking-, Rendering-, und Interaktionskomponenten programmiertechnisch umzusetzen. Dazu benötigte grundlegende Algorithmen können sie erklären und ggf. mit alternativen Algorithmen vergleichen (z.B. Einsatz von verschiedenen Merkmalsdeskriptoren). Sie sind weiterhin befähigt relevante Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion in Mixed Reality Umgebungen anzuwenden (z.b. Objektselektierungsverfahren). Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erlernen theoretische und praktische Kompetenzen in der Konzeption, Umsetzung und Evaluierung von Mixed Reality Systemen. Insbesondere werden Kompetenzen zum modulbasierten Erstellen einer komplexen Augmented Reality Software erlernt. Weiterhin sind die Studierenden befähigt einzelne Module auch auf andere Problemstellungen anzuwenden (z.B. Objekterkennung).
Inhalt Course content	Grundlagen und Geschichte der Mixed Reality Mixed Reality Kontinuum. Unterschiede zwischen Augmented Reality und Virtual Reality. Augmented Reality Kernmodule. Augmented Reality Plattformen. Registrierungs- und Tracking Grundlagen. Unterschiede zwischen räumlicher und visueller Registrierung. Unterschiede zwischen Registrierung und Tracking. Mixed Reality Anforderungen and Trackingsysteme. Taxonomie von Trackingsystemen. Überblick über ausgewählte Trackingsysteme. Kamerakalibrierung. Bedeutung der Kamerakalibrierung für Mixed Reality Systeme. Lochkameramodell. Extrinsische und Intrinsiche Kameraparameter. Verzeichnung. Algorithmen zur Kamerakalibrierung. Grundlagen des Markertracking. Markertracking Pipeline. Natural Feature Tracking. Grundlagen. Was sind gute Features? Merkmalsdetektion, -beschreibung, und –matching. Ausgwählte Merkmalsdetektoren und – deskriptoren. Template-

	basiertes Tracking. Erweiterte Trackingverfahren (Deformierbare Oberflächen, SLAM). Szenengraphen. Unterschiede low-level APIs (OpenGL) und Szenegraphen. 3D Engines. Knoten. Modelieren von Szenen mittels Knotenhierarchien. Graphentraversierung. Intersection und Picking. Grundlagen des Mixed Reality Renderings. Erstellung von Video-See-Through Augmented Reality Szenen mittels Szenengraphen. Displaysysteme. Displayeigenschaften. Mensch-zentrierte Displaytaxonomie. Head-Mounted Displays. Optische vs. Video-See-Through Displays. Immersive VR Displays. Handheld Displays. Projektive Displays. Formveränderbare Displays. Multi-Display Umgebungen. Optische See-Through Kalibrierung. Unterschiede und Gemeinsamkeiten zur Kamerakalibrierung. Datensamlungsmethoden.Bestätigungsmethoden. Evaluierungsmethoden. Rekalibrierung. (Semi-) automatische Kalibrierung. Erweitertes Mixed Reality Rendering. User Perspective vs. Device Perspective Rendering. Simulieren von Kameraartefakten. Schätzung der Umgebungsbeleuchtung. Augmented Reality Visualisierungstechniken. X-Ray. Ghosting. Cut Aways. Explosionsdiagramme. Labeling. Cluttermanagement. Informationsfilterung. Mixed Reality Interaktionstechniken. Interaktionsaufgaben. Interaktionsgeräte. Touchbasierte Interaktion. Räumliche Interaktion. Multimodale Interaktion.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten) oder Portfolio-Prüfung; Mögliche Portfoliobestandteile sind: • Schriftliche Teilprüfung • Technischer Bericht • Dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für einzelne Module • Live Systemdemonstration • Erstellung von Videodemonstrationen • Präsentation der erstellten Materialien unter Einsatz geeigneter Präsentationstechniken, z.B. PowerPoint • Teilpräsentationen zu Einzelleistungen • Laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument. • Abschlusspräsentation Die Bearbeitung der Portfolio-Leistungen erfolgt begleitend zur Lehrveranstaltung. Die Bearbeitungszeit der einzelnen Bestandteile der Portfolioprüfung darf dabei 4 Wochen nicht

	übersteigen. Die letzte Leistung ist bis spätestens 4 Wochen nach Ende der Vorlesungszeit zu erbringen. Der Umfang eines einzelnen technischen Berichtes soll dabei 10 Seiten nicht übersteigen. Der Umfang eines Teilberichts soll dabei 5 Seiten betragen. Der Umfang einer Teilpräsentation soll dabei 10 Minuten umfassen und durch geeignete Medien und Präsentationsformen unterstützt werden. Der Umfang der Abschlusspräsentation soll dabei 15 Minuten umfassen und durch geeignete Medien und Präsentationsformen unterstützt werden. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute written or 20-minute oral examination or portfolio; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Gruppenarbeit, Wiki Projector presentation, group work, wiki
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5802	Spatial Augmented Reality	PN 405215
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Grubert	
Dozent(in) Lecturer	Grubert	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	3P Für die Vorlesung und die Übung im Rahmen der Lehrveranstaltung besteht keine Anwesenheitspflicht. Jedoch wird Anwesenheit empfohlen. Dies begründet sich aus den Anforderungen an die benötigte Hardware um die Aufgabenstellungen erfolgreich abschließen zu können (Tiefenkamera + Projektor). Diese Hardware ist nur im Labor verfügbar und kann nicht ausgeliehen werden. Die Lehrveranstaltung ist auf Grund ihrer didaktischen Konzeption, des Betreuungsaufwands und der verfügbaren technischen Ausrüstung auf maximal 12 Studierende beschränkt und umfasst Studiengruppen von 3 Personen.	
Arbeitsaufwand Workload	10 Std. Vorbereitungstreffen + 20 Std. Teammeetings + 10 Std. Projektmanagement + 90 Std. Entwurf, Implementierung und Validierung von Anwendungen + 10 Std. Berichterstellung + 10 Std. Präsentationen und Vorbereitung Gesamt: 150 Std. 10 hrs. preperation meeting + 20 hrs. team meeting + 10 hrs. project management + 90 hrs. design, implementation and validation of applications + 10 hrs. report + 10 hrs. presentation and preparation Overall: 150 hrs.	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung	Keine None	

Required prerequisites as per the study and examination regulations	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	SEP oder MES Praktikum, Bildverarbeitung, Programmierung in Java oder Programmierung 1+2, Grundlagen der Mensch-Maschine-Interaktion, Mixed Reality SEP or MES Practical, Image Processing, Programming in Java or Prorgramming 1+2, Basics of Human-Computer-Interaction, Mixed Reality
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen technische Grundlagen und Anwendungen von räumlichen Augmented Reality Systemen. Insbesondere sind sie mit den grundlegenden erforderlichen Kalibrierungsverfahren für Projektor-Kamera Systemen vertraut. Weiterhin erhalten sie Kenntnis über den Einsatz von Trackingverfahren, insbesondere auf Basis von Tiefenkameras. Sie kennen die Herausforderungen bei Projektionen mit Multiprojektorsystemen, sowie der Projektion auf nicht planare Oberflächen. Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer können grundlegende Algorithmen zur Projektor-Kamera Kalibrierung umsetzen. Insbesondere können sie eine RGB-Kamera Kalibrierung und geometrische Projektor-Kamera Kalibrierung durchführen. weiterhin können Sie relevante Rederingalgorithmen wie Projektive Texturierung und einfache 3D Trackingverfahren anwenden. Kompetenzen / Competencies Auf Basis der erlernten Verfahren können die Studierende räumliche AR Systeme erstellen. Sie können Projektor-Kamera Einheiten mit 3D Trackingsystemen kombinieren. Dies bildet die Basis um interaktive Systeme umzusetzen, z.b. zur Steuerung von projizierten Bildschirminhalten auf einer Leinwand oder die perspektivisch korrekte Darstellung von 3D Modellen aus unterschiedlichen Nutzerperspektiven. Die Studierenden können weiterhin Herausforderungen beim praktischen Einsatz von räumlichen Augmented Reality Systemen erkennen und adressieren.
Inhalt Course content	Das Praktikum besteht aus einem einführenden theoretischem und einem praktischen Teil. Theoretischer Teil: Grundlagen projektionsbasierter Augmented Reality.

	Anwendungen projektionsbasierter Augmented Reality. Die Rolle von Tiefenkameras für räumliche Augmented Reality. Trackingverfahren für projektionsbasierte Augmented Reality. Projektion auf nicht planare Oberflächen. Radiometrische Kompensation. Multi-Projektor Systeme. Projektive Texturierung. Praktischer Teil: Grundlangen (für alle Studierenden verpflichtend): Geometrische RGB-Kamerakalibrierung. Geometrische Projektor-Kamera Kalibrierung (RGB + Tiefenkamera). Projektive Texturierung Neben der Implementierung der oben genannten Grundlegenden Algorithmen können Studierende optional eine Anwendung oder weitere grundlegende Algorithmen implementieren: Anwendungen: Perspektivisch korrekte Projektion aus verschiedenen Nutzerpositionen. Augmentierung menschlicher Körperteile. Eine von den Studierenden definierte mit der Lehrveranstaltungsleitung abgestimmte Beispielanwendung (z.b. augmentiertes Pong Spiel auf Leinwand) Alternative grundlegende Algorithmen: Projektion auf nicht planare Oberflächen. Multi-Projektor Kalibrierung. Radiometrische Kompensation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 60 Minuten) oder Portfolio-Prüfung; Mögliche Portfoliobestandteile sind: • Dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für einzelne Module (sowohl im Quelltext als auch als lauffähige Anwendung) • Live Systemdemonstration • Erstellung von Videodemonstrationen • Schriftliche Teilprüfung • Technischer Bericht • Dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für einzelne Module • Erstellung von Videodemonstrationen • Präsentation der erstellten Materialien unter Einsatz geeigneter Präsentationstechniken, z.B. PowerPoint • Teilpräsentationen zu Einzelleistungen • Laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument. • Abschlusspräsentation Die Bearbeitung der Portfolio-Leistungen erfolgt begleitend zur Lehrveranstaltung. Die Bearbeitungszeit der einzelnen Bestandteile der Portfolioprüfung darf dabei 4 Wochen nicht übersteigen. Die letzte Leistung ist bis spätestens 4 Wochen

	nach Ende der Vorlesungszeit zu erbringen. Der Umfang eines einzelnen technischen Berichtes soll dabei 10 Seiten nicht übersteigen. Der Umfang eines Teilberichts soll dabei 5 Seiten betragen. Der Umfang einer Teilpräsentation soll dabei 10 Minuten umfassen und durch geeignete Medien und Präsentationsformen unterstützt werden. Der Umfang der Abschlusspräsentation soll dabei 15 Minuten umfassen und durch geeignete Medien und Präsentationsformen unterstützt werden. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Die Leistungskontrolle kann im Rahmen einer mündlichen Prüfung als vertiefte fachliche Diskussion erfolgen. 180-minute written or 60-minute oral examination or portfolio; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Gruppenarbeit, Wiki Projector presentation, group work, wiki
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5803	Context Recognition Architectures	PN 405237
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz	
Dozent(in) Lecturer	Hölzl, Kranz	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 105 Std. Übungsaufgaben und Vor- und Nachbereitung 45 contact hours + 105 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	SEP oder MES Praktikum, Programmierung in Java oder Programmierung 1 und Programmierung 2, Einführung in die Kontexterkennung, Grundlagen der Mensch-Maschine Interaktion SEP or MES Practical, Programming in Java or Prorgramming 1+2, Introduction to Context Recognition, Basics of Human-Computer-Interaction	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse	Kenntnisse / Skills/Knowledge	

Learning outcomes	Die Studierenden kennen die grundlegenden Entwurfsparadigmen, repräsentative und wichtige Vorhaben auf dem Gebiet der Lehrveranstaltung und Evaluationskriterien für Kontext-Erkennungsarchitekturen („context recognition architectures“). Die Studierenden wissen wie Erkennungsmethodiken in Echtzeitsystemen unter Zuhilfenahme von aktuellen Methoden des maschinellen Lernens und der mathematischen Mustererkennung implementiert werden. Die Studierenden kennen die grundlegenden, theoretischen und praktischen Probleme beim Design einer Kontext-Erkennungsarchitekturen. — Students know the basic design principles, representative and importent projects in the area oft the course, and evaluation criteria's for Context Recognition Architectures. Students know how recognition methodologies are implemented in real time systems by applying state of the art machine learning and pattern classification methodologies. Students know the fundamental theoretic and practical problems when designing context recognition architectures. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können das erworbene Wissen für die einzelnen Teilschritte der sogenannten „Activity Recognition Chain“ (Sensor Selektion, Sensor Sampling, Segmentierung, Merkmals Extraktion, Klassifikation, Fusionierung, und symbolisches Schließen) anwenden, diskutieren, und implementieren. — Students can use their knowledge about the single steps of the so called “Activity Recognition Chain” (i.e. sensor selection, sensor sampling, segmentation, feature extraction, classification, fusion, and symbolic processing/reasoning) to apply, discuss, and implement it. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben theoretische und praktische Kompetenzen (i) in der Konzeptionierung, (ii) im Design, (iii) in der Implementierung und (iv) Umsetzung und Evaluierung von Kontext-Erkennungsarchitekturen. Während der Aufgabenstellung wird besonderes Augenmerk auf die Wiederverwendbarkeit der entwickelten Softwarekomponenten gelegt, um diese für zukünftige Anwendungsszenarien flexible einsetzen zu können. — Students learn theoretical and practical competencies (i) in the conception, (ii) in the design, (iii) in the implementation and (iv) in the evaluation of Context Recognition Architectures. During the practical tasks, special focus is put on the reu-

	sability of the developed software components to make them easily (re-)usable in future application scenarios.
Inhalt Course content	Kontext Sensitive Systeme spielen eine entscheidende Rolle in der zukünftigen Epoche von „Intelligenten Umgebungen“. Die Interpretation von Sensordaten in Echtzeit zu semantischen Informationen wird der Schlüsselaspekt für die implizite Mensch-Maschine Interaktion in zukünftigen smarten Umgebungen. Die Verfügbarkeit von SmartPhones, Tablet-PCs oder Wearables, welche aufgrund Ihrer integrierten Sensoren als Multi-Sensor-Plattformen betrachtet werden können, ermöglichen eine Skalierung der Erkennungsprozesse von Individuen, zu Gruppen und ganzen Gesellschaften. In Zukunft werden wir eine immer größere Anzahl an Geräten mit integrierten Sensoren vorfinden. Aktuelle Entwicklungen im Bereich tragbarer und körpernaher Technologien, insbesondere „Wearables“ stehen repräsentativ für zu erwartende Entwicklungen. Während der Lehrveranstaltung wird eine prototypische Implementierung einer Kontext-Erkennungsarchitektur (in einem Team von 2-3 Studierenden) auf einer mobilen Plattform (z.B. SmartPhone oder SmartWatch) umgesetzt. *Themenblöcke und Inhalte:* The Spirit of Context Aware Computing Historischer Hintergrund, Pionierarbeiten- und einflussreiche Arbeiten, Anwendungsszenarien, Forschungsrichtungen & Trends, Ausblick Sensors Übersicht über verfügbare Sensorik mit dem Fokus auf Kontext- Erkennungsarchitekturen (z.B.: IMUs (Inertial Measurement Units zur Aktivitätserkennung), Umgebungssensoren, Biosensoren, Smartphone als Sensorplattform, etc.). Design von Sensorknoten & Kommunikationsarchitekturen (Bluetooth, Zigbee, etc.). Context Aware System Design Principles I Einführung in die Aktivitäts- und Kontexterkennungskette zur Transformation von rohen Sensordaten hin zu semantischer Information. Context Aware System Design Principles II Detaillierte theoretische Behandlung der einzelnen Schritte der Aktivitäts- und Kontexterkennungskette sowie Diskussion der notwendigen einzelnen Schritte. Context Aware System Design Principles III Kombination der erlerntem Methoden hin zu einer echtzeitfähigen, Aktivitäts- und Kontexterkennungsarchitektur. Identifizierung von spezifischen Architekturschwächen der Designansätze (Top-Down / Bottom-Up) und deren möglicher Lösung.

Identification, Presence & Tracking
Identifizierung von Menschen & Dingen; Technologien zur Identifikation (RFID, NFC), Positionierung, Orientierung, "Smart Dust", Surfacewave Transponder, Visuelle Codes (QR), Artificial Noses, ausgewählte Anwendungsfälle (z.B.: Fahrererkennung, Aktivitätserkennung, etc.)
Social Aware Systems & Patterns
Social Computing im Allgemeinen, graphenbasierte Algorithmen zur Community Erkennung. Smartphone als skalierende Sensor-Plattform zur "Crowd" Kontexterkennung.
Looking into the future
Einführung in Zeitreihenvorhersage (Multiplicative Time Series Model, ARMA, ARIMA); Kontextvorhersage basierend auf State Space Models (HMM).
Security Matters?
Definition von Security und Privacy vor allem im Bereich des Ubiquitous Computing; Solove's Privacy Taxonomy; Fair Information Principles, gesetzliche Regularien, Implikationen für UbiComp, Shamir Tags, kritische Beispiele von RFID und "Smarten" Geräten.
Wearable Computing
Technologie Review und Diskussion von Anwendungsszenarien (Brillen, SmartPhones, SmartWatches, FitnessTrackers, etc.)
Energy Efficient Design Methodologies
Diskussion spezifischer Designs zur Verringerung des Energieverbrauches (Hard- & Software) um lange (optimierte) Systemlaufzeiten zu erhalten.
—
The Spirit of Context Aware Computing
Historical Background, Pioneering and Influential Work, Application Cases, Current Research Trends, Outlook
Sensors
Overview of available sensors especially suited for the use in context recognition Architectures. (e.g., inertial measurement units for wearable activity recognition; Environmental Sensors, Biosignal, Smartphone as a sensing Platform, etc.). Sensor Node Design & Communication (Bluetooth, ZigBee, etc.)
Context Aware System Design Principles I
Introducing the Activity and Context recognition chain to transform raw sensor data towards semantic information.
Context Aware System Design Principles II
Detailed walkthrough and methodological explanation of the necessary steps in the Activity and Context recognition chain.
Context Aware System Design Principles III
Combination of learned methodologies towards a realtime, ac-

	tivity and context recognition architecture. Identification of specific shortcommings of bottom-up vs. top-down architectures and their possible solution. Identification, Presence & Tracking Identifying Human & Things; Technologies for Identification (RFID, NFC), Positioning, Orientation, Smart Dust, Surface-wave Transponder, Visual Codes (QR), Artificial Noses, Selected Application Cases (e.g., Driver Identity-/Activity Recognition) Social Aware Systems & Patterns Social Computing in general, Algorithms based on graph theory for community detection, SmartPhone as a Sensing Platform on multiple scale and for Crowd Context Detection Looking into the future Introduction into Time Series Prediction, Multiplicative Time Series Model, ARMA, ARIMA, Context Prediction based on State Space Models (HMM) Security Matters? Security and Privacy Definitions, Solove's Privacy Taxanomy, Legal Issues, Fair information principles, UbiComp Implications, Shamir Tags, Critical Examples of RFID and Smart Devices. Wearable Computing Off the shelf technology review and application scenarios discussion (Glasses, SmartWatches, FitnessTrackers). Energy Efficient Design Methodologies Design specifics to ensure low power consumption (in terms of soft- and hardware techniques) resulting in long (and/or optimized)
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten) oder Portfolio-Prüfung; Portfoliobestandteile sind: • Schriftliche Teilprüfung • Praktischer Teil – Systemimplementierung – Dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext – Laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument. – Abschlusspräsentation Die Bearbeitung der Portfolio-Leistungen erfolgt begleitend zur Lehrveranstaltung. Die Bearbeitungszeit der einzelnen Bestandteile der Portfolioprüfung darf dabei 3 Wochen nicht übersteigen. Die letzte Leistung ist bis spätestens 4 Wochen nach Ende der Vorlesungszeit zu erbringen.

	Der Umfang der Abschlusspräsentation soll dabei 15 Minuten umfassen und durch geeignete Medien und Präsentationsformen unterstützt werden. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute written or 20-minute oral examination or portfolio; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Gruppenarbeit, Wiki Projector presentation, group work, wiki
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5804	Scientific Methods and Technical Writing	PN 479810
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz	
Dozent(in) Lecturer	Kranz	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz Vorlesung + 30 Std. Präsenz Übung + 75 Std. Übungsaufgaben/Referate, Vor- und Nachbearbeitung, Gesamt: 150 Std. 45 + 30 contact hours + 75 hrs exercises/presentation, independent study and exam preperations (total: 150 hrs)	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Bestandteile wissenschaftlicher Arbeiten. Die Studierenden kennen Werkzeuge für die wissenschaftliche Recherche, Quellenarbeit und Datenanalyse.	

	— The participants are familiar with basic parts of scientific work. They know tools for scientific research, working with sources and data analysis. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Publikationsmetriken interpretieren. Die Studierenden können wiederkehrende Typen von Daten geeignet mittels statistischer Verfahren und Tests auswerten und aufbereiten. — The students are able to interprete publication metrics. They are able to process and analyse recurring types of data with suitable statistical methods and tests. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage selbständig unter Einsatz gängiger Suchmaschinen und Werkzeuge wissenschaftliche Arbeiten zu recherchieren und miteinander in Bezug zu setzen. Die Studierenden können technische Berichte von begrenztem Umfang nach wissenschaftlichen Kriterien schreiben. — The students are able to research the relevant literature using common search engines and tools and to establish and assess the relationship of the sources. They are able to write technical reports of limited size on the basis of scientific criteria.
Inhalt Course content	Methodik: Qualitative Methoden, Quantitative Methoden, Messtheorie, Statistische Verfahren Technisches Schreiben und wissenschaftliche Berichte: Recherche nach wissenschaftlichen Beiträgen, Vorwärts- und Rückwärtssuche, Datenbanken, Zitierrichtlinien und -stile, Struktur und Aufbau wissenschaftlicher Arbeiten in der Informatik, Publikationsprozesse, Veröffentlichungsmöglichkeiten, Pre-Print Archive, Open Access, Impact Factors, Publikationskulturen Begutachtungsverfahren: Peer-Review System, Open Reviews, Review Policies (open, blind, double-blind), technische Lösungen, Ethische Aspekte Werkzeuge für wissenschaftliches Arbeiten und Schreiben, Software, Tools, Ressourcen, Werkzeuge für die Datenauswertung, -analyse und -visualisierung. Informationsvisualisierung und Visual Communication Praktische Hilfestellungen für das Erstellen englischer Berichte Vortragstechniken, Präsentationstechniken — Methodology: Qualitative methods, quantitative methods, foundations of measurement, statistical methods

	Technical writing and scientific reports Review procedure Tools for research and scientific writing Information visualization and visual communication Practical assistance for compilation of reports in English Communication and presentation techniques
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur od. mündl. Prüfung od. Portfolio (techn. Bericht, Präsentation) Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Mögliche Portfoliobestandteile sind • Eigenständige Zusammenfassung von relevanten wissenschaftlichen Arbeiten zu den Themen der Lehrveranstaltung • Präsentationen • Datensätze und deren Auswertung • Präsentation der erstellten Materialien unter Einsatz geeigneter Präsentationstechniken, z.B. PowerPoint, Desktopreviews, Postern, Flipchart, Whiteboard, Tafel Die genauen Anforderungen werden vom Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Written examination or oral examination or portfolio The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Tafelanschrieb, Gruppenarbeit Projector presentation, blackboard, group work
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

5807 Programming Applications for Mobile Interaction	PN 405026
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz
Dozent(in) Lecturer	Kranz
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü **Für die Vorlesung und die Übung im Rahmen der Lehrveranstaltung besteht Anwesenheitspflicht.** In der Vorlesung findet eine wissenschaftlich-technische Einführung zu den Themen der Lehrveranstaltung statt, diese werden in den anschließenden Übungen direkt mit der Übungsleitung praktisch umgesetzt. Begründung: In der Lehrveranstaltung arbeiten die Teams von Studierenden an einem größeren Projekt über das ganze Semester hindurch. Es zu jedem Arbeitspaket bzw. Themengebiet ein Kolloquium statt, in denen über die Fortschritte berichtet, aufgetretene Probleme ausgetauscht und ihre Lösungen diskutiert werden; am Ende findet ein Abschlusskolloquium statt. Wird keine umfassende Anwesenheit bei den Kolloquien gefordert, wird die Kompetenz nicht geübt, vor anderen Studierenden zu präsentieren und auf ihre Fragen und Anmerkungen (und nicht nur die des Dozenten) einzugehen und diese zu diskutieren. Die Kompetenz, die präsentierten Inhalte zu analysieren, bewerten und kritisch zu diskutieren ist eine wesentliche Anwendung der Lehrveranstaltungsinhalte die nur bei Präsenz eingeübt werden kann. Die vereinzelte Abwesenheit aus nicht vom Studierenden zu vertretenden und nachgewiesenen Gründen ist möglich. Darüber hinaus kann die spezifische Aufgabenstellung besondere Ausstattung erfordern, die nur in den Laboren und Räumen der Universität in geeigneter Weise zur Verfügung steht. Ferner ist ggf. eine direkte Betreuung und Unterweisung an

	speziellen Geräten notwendig. Daher ist bei spezifischen Aufgabenstellungen eine Bearbeitung außerhalb dieses Kontextes nicht möglich und die Anwesenheit dann zwingende Voraussetzung für die erfolgreiche Bearbeitung. Andernfalls ist die erfolgreiche Teilnahme an der Lehrveranstaltung gefährdet.
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 135 Std. Übungsaufgaben, Nachbearbeitung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 135 hours exercises and independent study and exam preparation
ECTS Credits	7
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung in Java, Mensch-Maschine-Interaktion, MES Praktikum oder SEP, zusätzlich ggf. Verteilte Systeme Programming in Java, Human-Computer-Interaction, MES or SEP Practical, optionally Distributed Systems
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die Realisierung von umfangreichen Engineering-Projekten aus dem Kontext Mobiler Anwendungen und Systeme und die dazu notwendigen Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge kennen. Theoretische Kenntnisse vom Entwurf verteilter Systeme, der Entwicklung mobiler Anwendungen und Rechnernetze werden praktisch angewendet und durch die Systementwicklung eines komplexeren Gesamtsystems vertieft. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden beherrschen die praktischen Fragestellungen der Entwicklung und Umsetzung von Systemen bestehend aus mobilen Endgeräten und zentralen bzw. dezentralen Infrastrukturen sowie den maßgeblichen Einfluss der Mensch-Maschine-Interaktion mit dem Gesamtsystem. Die Studierenden können in einem kleinen Team effektive Lösungen erarbeiten und durchführen und erfolgreich ein vorlesungsbegleitendes Projekt im Team realisieren.

	Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erlernen soziale Kompetenz durch die Teamarbeit und die notwendigen organisatorischen und fachlichen Kompetenzen zur Durchführung von Projekten aus dem Kontext der mobilen Anwendungsentwicklung erfolgreich zu bearbeiten. Teil des Lernziels besteht in der Abschätzung und Kontrolle des Arbeitsaufwandes, sowie der Entwicklung von Strategien zum erfolgreichen Projektmanagement. Dazu werden Stundenzettel geführt.
Inhalt Course content	Im Rahmen der Lehrveranstaltung wird eine dem Umfang der Lehrveranstaltung angepasste mobile Anwendung (ggf. mit zugehörigem Backend-System) realitätsnah entwickelt mittels der Problemstellung angemessener Methoden und Werkzeuge im Team bearbeitet unter Anwendung geeigneter Vorgehensweisen zur Projekt- und Arbeitsorganisation. Insbesondere werden Vorgehensweisen aus den Bereichen Mensch-Maschine Interaktion (Prototyping, Entwicklung, Durchführung und Auswertung von Benutzerstudien, Human-Centered Software Engineering, Feldtests, Fokusgruppen), verteilte Systeme (Architekturentwurf verteilter Anwendungen, Verteilung von Funktionalität, Protokollentwurf), und Software Engineering (Agile Entwicklungsprozesse) eingesetzt. Das Vorgehen deckt sich soweit möglich mit bestehender Praxis aus Industrie und Forschung. Teams von in der Regel 2-3 Studierenden bearbeiten in der Übung gemeinsam und systematisch ein kleineres Projekt, das in mehrere Arbeitspakete strukturiert ist. Die genaue Aufgabenstellung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung schriftlich in Form einer Zielvorgabe mit minimalen Eigenschaften als Bestehenskriterien vorgegeben. Bei der Bearbeitung des vorlesungsbegleitenden Projekts werden folgende Engineering-Aktivitäten für die 1.) Infrastrukturkomponenten bzw. für die 2.) mobile Anwendung abgedeckt: **1. Analyse** 1.) Detaillierte Festlegung der Anforderungen an das System. Beachtung der Grundprinzipien Präzision, Vollständigkeit und Konsistenz. Der Inhalt umfasst das Systemmodell als Übersicht, die geeignete Beschreibung der Systemumgebung mittels geeigneter Werkzeuge, sowie die Erfassung und Dokumentation funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen. 2.) Für die Mobile Anwendung sind, zusätzlich zu den genannten Aufgaben, Prototyping-Methoden einzusetzen (z.B. Wizard-of-Oz) bzw. Studien zur Identifikation der Nutzergruppen (z.B. Interviews) durchzuführen. **2. Entwurf**

1.) Hauptbestandteil ist ein systematischer Grobentwurf eines Systems, das die in der Analyse ermittelten Anforderungen bestmöglich erfüllt. Auf dieser Basis wird ein detaillierter Entwurf ausgearbeitet, der mit der Problemstellung angemessenen, domänenspezifischen Werkzeugen und Vorgehensweisen das umzusetzende System spezifiziert und dokumentiert.
2.) Die mobile Anwendung ist, im Gegensatz zum Hauptsystem, mittels Prototyping-Methoden agil und iterativ zu entwerfen und zu validieren. Dazu sind z.B. Methoden zur Erstellung horizontaler bzw. vertikaler High-Level/Low-Level Prototypen aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion einzusetzen.

3. Umsetzung

1.) Im Rahmen der Umsetzung erfolgt die tatsächliche Realisierung des entworfenen Systems. Das System besteht in der Regel aus Software- und Hardware-Komponenten. Zur Realisierung sind bestehende, konfigurierbare Softwarebausteine mit eigener Software zu ergänzen und zu einem lauffähigen Gesamtsystem zu integrieren. Hierzu werden Methoden aus dem Bereich der verteilten Systeme, z.B. Architekturentwurf, oder der vernetzten Systeme, z.B. Socket-Programmierung, verwendet.
2.) Die Umsetzung der Mobilen Anwendung wird durch spezielle Frameworks und Entwicklungssysteme aus dem Bereich mobiler Anwendungen unterstützt.

4. Validierung

1.) Validierung und Verifikation der Ergebnisse von Entwurf und Umsetzung auf Grundlage der durch Analyse bestimmten Anforderungen.
2.) Die mobile Anwendung ist durch geeignete Methoden aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion zu evaluieren und die Ergebnisse sind kritisch zu diskutieren. Hierzu können z.B. Beobachtung, Fragebögen, Effizienz- und Fehlermessungen bei der Interaktion eingesetzt werden.
Jedes Arbeitspaket kann eine oder mehrere dieser Aktivitäten umfassen und jede Aktivität kann Gegenstand eines oder mehrerer Arbeitspakete sein. Dabei müssen alle Aktivitäten durch Arbeitspakete adäquat abgedeckt sein. In den einzelnen Arbeitspaketen kommen projekt- und domänenspezifische Werkzeuge und Methoden zum Einsatz z.B. zum Test von Client/Server-Systemen, Schnittstellenbeschreibungssprachen, Service Description Languages.
Zu allen Arbeitspaketen werden Arbeitseinheiten definiert, deren Aufwand abgeschätzt und deren Realisierung z.B. anhand eines Gantt-Charts organisiert und durchgeführt. Das Ergeb-

	nis jedes Arbeitspakets wird durch einen kurzen Bericht dokumentiert, ggf. begleitet von Software. Aus dem Bericht sind auch Aufwandsabweichungen und Korrekturen vorangegangener Arbeitspakete ersichtlich. Jedes Arbeitspaket schließt mit einem Kurzvortrag in der nächsten Einheit ab. Die Teams werden durch ein festes wöchentliches Treffen mit dem Betreuer unterstützt. Die Lehrveranstaltung schließt mit einem Abschlusskolloquium ab, in dem das fertig entwickelte System präsentiert und abgenommen wird.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Schriftliche Dokumentation in Form eines technischen Berichts, mündliche Präsentationen zu den Arbeitspaketen, die durch geeignete Medien (z.B. Folien) unterstützt werden Dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext inkl. aller zur Demonstration notwendigen Informationen, sowie einer Systemdemonstration im Rahmen des Abschlusskolloquiums.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Gruppenarbeit, Wiki Projector presentation, group work, wiki
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5809	Mobile Human-Computer Interaction	PN 479510
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz	
Dozent(in) Lecturer	Kranz	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz Vorlesung + 30 Std. Präsenz Übung + 30 Std. Übungsaufgaben/Referate + 135 Std. Vor- und Nachbearbeitung 45 + 30 contact hours + 30 hrs exercises + 135 hrs independent study and exam preparations	
ECTS Credits	8	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlagen der Mensch-Maschine Interaktion Programming Applications for Mobile Interaction	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen grundlegende Techniken zur Mensch-Maschine Interaktion mit mobilen Systemen. Die Studierenden können verschiedene Eingabe- und Ausgabe-Technologien beschreiben und kennen insbesondere Techniken	

	zur Text-, Gesten- und Sprachein- und -ausgabe. Die Studierenden können Techniken zur Anzeige von visuellen Informationen auf einem Gerät bzw. geräteübergreifend erläutern. Die Studiernden verstehen die grundlegenden Interaktionskonzepte mobiler Plattformen. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, Benutzungsschnittstellen für konkrete Anwendungsfälle und -szenarien zu entwerfen, prototypisch umzusetzen und zu evaluieren. Die Studierenden sind in der Lage, die Fähigkeiten und Potentiale einer mobilen Plattform für die Entwicklung konkreter Anwendungen zu nutzen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage einzelne Technologien und Techniken hinsichtlich Einsatzgebiet, Effektivität, Effizienz, Fehleranfälligkeit und Benutzeraktzeptanz bewerten. Die Studierenden sind in der Lage Studien für die Ermittlung und Bewertung der qualitativen und quantitativen Eigenschaften mobiler Systeme für die Mensch-Maschine Interaktion zu entwickeln, entwerfen, durchzuführen und auszuwerten.
Inhalt Course content	• Mobile Betriebssysteme, Anwendungsentwicklung, Plattformabhängige Softwareentwicklung, Entwicklungswerkzeuge und –plattformen • Webservices und Cloud Services • Texteingabe, Gesteneingabe, Augmented Reality, Virtual Reality, Projektion • Sensordatenverarbeitung • Informationsverarbeitung, Informationsvisualisierung, Informationswahrnehmung • Psychologische Grundlagen der menschlichen Informationswahrnehmung und –verarbeitung • Qualitative Methoden, quantitative Methoden
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur od. mündl. Prüfung od. Portfolio (techn. Bericht, Quelltext u. Präsentation). Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written examination or oral examination or portfolio. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Tafelanschrieb, Gruppenarbeit Projector presentation, blackboard, group work
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben Will be announced by the lecturer

5810	Statistische Datenanalyse Statistical Data Analysis	PN 405187
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, Lineare Algebra I, Einführung in die Stochastik Analysis I, Linear Algebra, Introduction to Stochastic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Grundkonzepte zur Konstruktion und Beurteilung von Verfahren zur Lösung statistischer Probleme. Einsetzen von statistischen Verfahren in praktischen Anwendungsproblemen. Interpretation der Ergebnisse und ihre Beurteilung anhand von Gütekriterien.	

	— Basic concepts for the design and evaluation of visual analytics applications methods for solving statistical problems. Use of statistical methods in practical application problems. Interpretation of the results and their evaluation based on performance criteria
Inhalt Course content	• Elemente der deskriptiven Statistik • Statistische Beobachtungsmodelle • Konstruktion und Beurteilung von Schätzverfahren • Parametrische und nichtparametrische Testverfahren • Konfidenzbereiche • In Abhängigkeit von laufenden Projekten wahlweise Elemente aus: • Regressionsmodelle, Zeitreihenanalyse, Klassifikationsverfahren, Clusteranalyse, Multivariate Statistik — • Elements of descriptive statistics • Statistical observation models • Design and evaluation of estimation methods • Parametric and nonparametric tests • Confidence intervals • Depending on ongoing projects optional elements: • Regression models, time series analysis, classification process, cluster analysis, multivariate statistics
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or 20-minute oral examination, the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Folien oder Tafel Presentation and projector, transparencies or chalkboard
Literatur Reading list	Lehn, Wegmann: Einführung in die Statistik Behnen, Neuhaus: Grundkurs Stochastik

5812	Stochastische Simulation Stochastic Simulation	PN 451017
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach, Yaroslavtseva	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, Lineare Algebra I, Programmierung I, Einführung in die Stochastik Analysis 1, Linear Algebra 1, Programming 1, Introduction to Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Kenntnis grundlegender Algorithmen der stochastischen Simulation, ihrer Eigenschaften und typischer Anwendungen.	

	— Knowledge of basic algorithms of stochastic simulation, their properties and typical applications Fähigkeiten / Abilities Fähigkeit zur effizienten Implementierung dieser Verfahren und zur Darstellung und Interpretation von Simulationsergebnissen im Rahmen der Stochastik und Statistik. Fähigkeit zur eigenständigen Erarbeitung und Präsentation eines Themas aus der stochastischen Simulation. — Ability to efficiently implement these methods and to present and interpret simulation results in the context of stochastics and statistics. Ability to independently develop and present a topic in stochastic simulation.
Inhalt Course content	Das Verfahren der direkten Simulation, Simulation von Verteilungen, Methoden der Varianzreduktion, Markov Chain Monte Carlo-Methode, Numerische Integration — Direct Simulation, Simulation of Distributions, Variance reduction, Markov Chain Monte Carlo, Numerical integration
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Zwei Teilleistungen: Teilleistung 1 (80%): 90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Teilleistung 2 (20%): Vortrag (ca 15 Minuten) über ein Thema der Stochastischen Simulation. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. Examination in two parts Part 1 (80%): 90-minute written or oral exam of about 30 minutes. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester. Part 2 (20%): Oral presentation of about 15 minutes on a subject from Stochastic Simulation To pass the examination both parts have to be passed.
Medienformen Media used	Overhead, Beamer, Tafel Slides, projector, blackboard
Literatur Reading list	Müller-Gronbach, Novak, Ritter: Monte Carlo-Algorithmen, Springer, 2012

	Weiteres nach Empfehlung des Dozenten / Further reading announced during the lecture

5814	Wahrscheinlichkeitstheorie Probability Theory	PN 455341
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, II, Lineare Algebra I, II, Einführung in die Stochastik Analysis I, II, Linear Algebra I, II, Introduction to Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik Bachelor Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Verständnis der Grundkonzepte und -techniken sowie der zentralen Ergebnisse der maßtheoretisch fundierten Wahrscheinlichkeitstheorie. Fähigkeit zur Modellierung und Analyse komplexer zufälliger	

	Phänomene
Inhalt Course content	Grundkonzepte der Maß- und Integrationstheorie, u.a. Maßräume und messbare Abbildungen, Konstruktion des Lebesgue-Maßes, Maßintegrale, Produktmaße, Maßkerne, Vertauschungssätze für Integrale. Grundkonzepte und zentrale Ergebnisse der W-Theorie, u.a. Konvergenz von Folgen von Zufallsvariablen, Unabhängigkeit und 0-1-Gesetze, Charakteristische Funktionen, Gesetze der grossen Zahlen, Zentraler Grenzwertsatz, Bedingte Verteilungen und bedingte Erwartungswerte
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Abschlussklausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten). Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120-minute written or 30-minute oral examination, the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Folien oder Tafel Presentation and projector, slides or blackboard
Literatur Reading list	Bekanntgabe durch Dozenten / Announced during the lecture

5815	Computational Stochastic Processes	PN 451402
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II Lineare Algebra I + II, Programmierung I, Einführung in die Stochastik, Stochastische Prozesse, Stochastische Simulation Analysis I + II Linear Algebra I + II, Programming I, Introduction to Stochastics, Stochastic Processes, Stochastic Simulation	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Kenntnisse grundlegender Algorithmen zur zeitdiskreten und	

	zeitkontinuierlichen Simulation von Gauss-Prozessen und stochastischen Differentialgleichungen, ihre theoretischen Eigenschaften und typische Anwendungen. — Knowledge of basic algorithms for discrete- and continuous-time simulation of Gaussian processes and stochastic differential equations, their theoretical properties and applications. Fähigkeiten / Abilities Auswahl geeigneter Simulationsalgorithmen für konkrete Fragestellungen, zu ihrer effizienten Implementierung, zur praktischen Durchführung von entsprechenden Simulationsexperimenten sowie zur Darstellung und Bewertung der Ergebnisse. — Ability to select appropriate simulation algorithms for specific questions to their efficient implementation, the practical implementation of relevant simulation experiments, and for the presentation and evaluation of results.
Inhalt Course content	• Grundbegriffe der Simulation stochastischer Prozesse: Fehlerkriterien, Kostenmaße, minimale Fehler und Komplexität, Optimalität und asymptotische Optimalität. • Pfadweise Simulation von Gauss-Prozessen: Simulation multivariater Normalverteilungen, zeitkontinuierliche Verfahren, optimale L_2-Rekonstruktion, insbesondere Simulation Brownscher Bewegung und fraktioneller Brownscher Bewegung. • Pfadweise Simulation stochastischer Differentialgleichungen: zeitdiskrete Ito-Taylor Schemata, zeitkontinuierliche Verfahren, Schrittweitensteuerung. • Schwache Approximation stochastischer Differentialgleichungen: Standard Monte-Carlo Verfahren, Multilevel-Verfahren, Anwendungen in der Finanzmathematik. — • Basic concepts of simulation of stochastic processes: Failure criteria, cost measures, and minimum error complexity, optimality and asymptotic optimality. • Path way simulation of Gaussian processes: simulation of multivariate normal distributions, continuous-time process, optimal L_2 Reconstruction, particularly the simulation of Brownian motion and fractional Brownian motion. • Path way simulation of stochastic differential equations: discrete-time Ito-Taylor schemes, continuous-time method, time step control. • Weak approximation of stochastic differential equations: Standard Monte Carlo methods, multilevel methods, ap-

	plications in financial mathematics.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minütige Abschlussklausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben 90 minute written or 20-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Nach Empfehlung des Dozenten Announced during the lecture

5818	Stochastische Analysis Stochastic Analysis	PN 405214
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II, Einführung in die Stochastik, Wahrscheinlichkeitstheorie Linear Algebra I + II, Analysis I + II, Introduction to Stochastics, Probability Theory	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Verständnis der Grundkonzepte und -techniken sowie der zentralen Ergebnisse der Stochastischen Analysis.	

	Fähigkeiten / Abilities Modellierung und Analyse zeitabhängiger stochastischer Prozesse, die von einer Brownschen Bewegung getrieben werden. Eigenständige Erarbeitung und Darstellung eines Themas der Stochastischen Analysis
Inhalt Course content	Grundkonzepte der Stochastischen Analysis, u.a. Zeitstetige Martingale, Zeitstetige Markov Prozesse, Brownsche Bewegung, Stochastische Integration, Stochastische Differentialgleichungen.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Teilleistung 1 (80%): Mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten) Teilleistung 2 (20%): Schriftliche Ausarbeitung (bis zu 10 Seiten) eines zusätzlichen Themas zu stochastischen Differentialgleichungen. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. Part 1 (80%): Oral examination (about 30 Minuten) Part 2 (20%): Written work (up to 10 pages) about an additional topic of stochastic differential equations. To pass the examination both parts have to be passed.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Folien oder Tafel Presentation and projector, slides or blackboard
Literatur Reading list	Bekanntgabe durch Dozenten Announced during the lecture

5820	IT-Sicherheit Advanced IT Security	PN 405390
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga	
Dozent(in) Lecturer	Posegga	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 40 Std. Übungen + 80 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 40 hrs exercises + 80 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Grundlegendes Wissen über die wichtigsten Konzepte für den Betrieb sicherer und (meist) verteilter Rechnersysteme, dazu gehören u.a. Teilkomponenten aus den Bereichen Betriebssysteme, Kommunikations- und IT-Sicherheit, insb. kryptografi-	

sche Grundlagen inkl. PKI, Grundlagen der Netzwerksicherheit, Grundlagen der Sicherheit von Betriebssystemen, grundlegende Sicherheitsprotokolle und -standards, Sicherheitsarchitekturen, AAA in verteilten Systemen.

—

Basic knowledge of the key concepts for the operation of secure and (mostly) distributed computing systems. These include sub-components in the areas of operating systems, communications and IT security, especially cryptographic basics including PKI, principles of network security, principles of operating system security, basic security protocols and standards, security architectures, AAA in distributed systems.

Fähigkeiten / Abilities

Der Student ist in der Lage Konzepte anhand von selbst zu lösenden und zu diskutierenden Aufgaben aus ausgewählten Teilbereichen verstehen und Betriebssysteme und Netzwerke bezüglich der Sicherheit analysieren können. Der Student kann passende Verschlüsselungsverfahren für verschiedene Anwendungsfelder auswählen und Kommunikationsmechanismen in unterschiedlichen Szenarien anwenden. Der Student ist befähigt Verschlüsselungsverfahren anzuwenden.

—

Students have a firm grasp of concepts from selected subareas, based on exercises solved by the students themselves. Furthermore, they are able to analyse the security of operating systems and networks. Students are able to select appropriate encryption methods for various applications and implement communication mechanisms in different scenarios. Students have the ability to correctly implement encryption methods.

Kompetenzen / Competencies

Der Student ist befähigt Konzepte und Architekturalternativen für Kommunikationsmechanismen (Dienste und Protokolle) kennen, bewerten und auswählen zu können. Der Student hat die Kompetenz des Einsatzes von PKI-Technologie in verschiedenen Anwendungsfeldern und die Sicherheit von symmetrischen und asymmetrischen Verschlüsselungsverfahren beurteilen zu können. Der Student versteht Sicherheitsprotokolle und -standards einstufen und Sicherheitsarchitekturen bewerten zu können. Der Student erlernt die Kooperations- und Teamfähigkeit in den Präsenz- und praktischen Rechnerübungen. Der Student steigert die Problemlösungskompetenz durch selbstständiges Erarbeiten von Lösungen in den Übungen. Der Student kann die Komplexität systematisch beherrschen und kritische Bewertung von Lösungsansätzen und ihrer algorithmischen Umsetzung durchführen.

	— Students are able to identify, evaluate and select concepts and architectural alternatives for communication mechanisms (services and protocols). Students are expected to be competent in the use of PKI technology in various scenarios and to be able to assess the security of symmetric and asymmetric encryption methods. Students are well-versed in security protocols and standards and are able to classify and assess security architectures. Students have learnt cooperation and teamwork in the classroom and practical computer tutorials. Students have also honed their problem-solving skills by working through the exercises in the tutorials, autonomously arriving at a solution. Students are able to systematically address the complexity and perform critical assessment of approaches and its algorithmic implementation.
Inhalt Course content	In dem Modul werden folgende Inhalte behandelt: Einführung in die IT-Sicherheit; kryptographische Grundlagen; Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit; Authentication & Authorization; Sicherheitsmodule; OTPs, Token; Sicherheitsprotokolle; Grundlagen; SSL; IPSEC; Benutzerverwaltung; Zugriffsschutz; Sicherheit von TCP/IP Diensten; Grundlegende Sicherheitsprotokolle und –standards; Symmetrische Verschlüsselung (DES, AES, etc.); Asymmetrische Verschlüsselung (RSA, PGP); AAA in verteilten Systemen; Kerberos; X.509 Authentifikation; Netzwerk- und Internetsicherheit; IPSec; TLS/SSL; Einführung in PKI; Zertifikate; Schlüsselgenerierung; Certificate authorities; Certificate revocation und CA Hierarchie. — In the module, the following topics are treated: Introduction to IT Security, Cryptographic Basics, Confidentiality, Integrity, Availability, Authentication & Authorization, security modules; OTPs, tokens, security protocols, foundations, SSL, IPSEC, user management, access protection, security of TCP/IP services, Basic security protocols and standards; Symmetric encryption (DES, AES, etc.); Asymmetric encryption (RSA, PGP), AAA in distributed systems, Kerberos, X.509 authentication, network and Internet security, IPSec, TLS/SSL, introduction to PKI, certificates, key generation, certificate authorities, certificate revocation and CA hierarchy
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur oder ca. 15 min mündliche Prüfung, jeweils in englischer oder deutscher Sprache und je nach Anzahl der Hörer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben

	90-minute written examination or 15-minute oral examination, depending on the number of listeners, in English or German. The exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	H.-P. Gumm, M. Sommer: „Einführung in die Informatik“, 5. Auflage Oldenbourg-Verlag, München, 2002 Dieter Gollmann: Computer Security, John Wiley, 1999 W. Stallings: Cryptography and Network Security, Pearson, 2003 Niemi and Nyberg: UMTS Security, John Wiley, 2003

5821	Wireless Security	PN 405157
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga	
Dozent(in) Lecturer	Posegga	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 45 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 45 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	IT-Sicherheit Advanced IT Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die Grundlagen der Funkwellenausbreitung. Sie erwerben einen Überblick über technische Standards in der drahtlosen und mobilen Kommunikation sowie das Verständnis der Sicherheitslösungen in drahtlosen und mobilen Kommunikationssystemen. Die Studierenden bekommen	

	detailliertes Wissen über grundlegende Sicherheitskomponenten (z.B. Smartcards) und -technologien (z.B. Protokolle und Dienste) vermittelt sowie Kenntnis der spezifischen, sicherheitsrelevanten Randbedingungen solcher Systeme (z.B. im Bereich der Funktechnologien). Die Studierenden haben einen Überblick über konkrete, exemplarische Lösungen und deren Eigenschaften (z.B. GSM, UMTS, WLAN,...). — Students become familiar with the basics of radio wave propagation. They acquire an overview of technical standards in wireless and mobile communications, as well as an understanding of security solutions in wireless and mobile communication systems. Students acquire detailed knowledge of basic safety components (e.g. smart cards) and technologies (e.g. protocols and services) and the specific security constraints of such systems (e.g. in the field of wireless technologies). Students will have an overview of concrete, exemplary solutions and their properties (e.g. GSM, UMTS, Wi-Fi, etc). Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage Lösungen, insbesondere im Bereich mobiler/drahtloser Systeme, selbst konzipieren zu können. — The students are able to autonomously develop solutions, particularly in the area of mobile/wireless systems. Kompetenzen / Competencies Die Studenten können die Bedeutung der Sicherheit für drahtlose Kommunikation einschätzen und vorhandene Sicherheitslösungen analysieren und bewerten. — Students are able to assess the importance of security for wireless communication and to analyze and evaluate existing security solutions.
Inhalt Course content	Um das Lernziel zu erreichen wird zunächst fortgeschrittenes Wissen, das über das im B.Sc. vermittelte Basiswissen hinausgeht, vermittelt. Dies umfasst z.B. Wellenausbreitung, Smartcard-Technologie, sicherheitsrelevante Spezifika der drahtlosen Datenübertragung. Danach werden exemplarisch mehrere Lösungen an praktischen Beispielen diskutiert, analysiert und verglichen. Die grobe Gliederung der Inhalte des Vorlesungsteils stellt sich wie folgt dar: • Grundlagen der Wellenausbreitung • EMF-Sicherheit • Einführung in die Problematik der Sicherheit komplexer Systeme. Aufbau und Funktionsweise von Smartcards

	und verwandten Technologien (RFID) • Grundlegende, sicherheitsrelevante Aspekte der drahtlosen Datenübertragung • Sicherheitsarchitekturen am Beispiel von GSM, UTMS und Wireless LAN • Sicherheit von VoIP als Beispiel für die Unterstützung von Mobilität in Netzen auf Dienste-Ebene — In order to achieve the module objectives, advanced knowledge going beyond the scope of the Bachelor's degree is taught initially. This includes topics such as wave propagation, smart card technology and security specifics of wireless data transmissions. Subsequently, several solutions are discussed using real-world examples, and then analyzed and compared. The rough outline of the contents of the lecture part is as follows: • Wave propagation • EMF Safety • Introduction to the problem of security of complex systems. Design and operation of smart cards and related (RFID) technologies. • Fundamental security aspects of wireless data transmission. Security architectures using the example of GSM, UMTS and Wi- Fi. • Security of VoIP as an example of the support of mobility in networks at the service level.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60-90 min. Klausur oder ca.15 min. mündliche Prüfung, jeweils in deutscher oder englischer Sprache und je nach Anzahl der Hörer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 60-90 min. written or approx. 15-minute oral examination, depending on the number of students, in German or English. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Valtteri Niemi, Kaisa Nyberg: UMTS Security, November 2003: Wiley & Sons LTD Wolfgang Rankl, Wolfgang Effing: Smart Card Handbook, 2003: Wiley & Sons LTD T. Rappaport: Wireless Communications: Principles and Practice, 1996: Prentice Hall Die entsprechenden Spezifikation von 3GPP (GSM, UMTS), IEEE (802.*)

	Klaus Finkenzeller: RFID-Handbook, "Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification", April 2003: Wiley & Sons LTD

5822 Security Insider Lab II - System and Application Security	PN 453402
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga
Dozent(in) Lecturer	Posegga
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“
Lehrform/SWS Contact hours	6Ü **Es besteht Anwesenheitspflicht.** Die Anwesenheitspflicht besteht aus folgenden Gründen: Um den Erfolg der Veranstaltung zu gewährleisten ist eine verstärkte Interaktion der Stundenten untereinander aber auch zwischen Studenten und Betreuern notwendig. Bei der Interaktion mit den Betreuern oder den Kommilitonen, können die Studenten Probleme besprechen und Lösungsstrategien erarbeiten. Ein weiterer Grund sind die regelmäßig stattfindenden Präsentationen der Studenten. Jeder Student arbeitet sich frühzeitig verstärkt in ein Gebiet der Veranstaltung ein. In der Präsentation vermittelt der Student sein Spezialwissen den anderen Studenten. Damit sichergestellt wird, dass die Stundenten dieses Spezialwissen vermittelt bekommen, müssen sie anwesend sein. Der letzte Grund ist die Überprüfung der praktischen Kompetenz der Studenten. Die Studenten werden während der Anwesenheitszeit befragt um ihren Lernerfolg zu beobachten. Die Veranstaltung wurde bisher als Praktikum durchgeführt. Folgende Merkmale klassifizieren die Veranstaltung jedoch eher als Übung denn als Praktikum: regelmäßig (d.h. wöchentlich) stattfindende Termine für alle Teilnehmer, dauerhafte Aufsicht und Betreuung durch den Veranstalter und gegenseitige Vermittlung von Grundlagenwissen durch Vorträge. — **Attendance is compulsory.** This is for the following reasons: First, to ensure the success of the course, it is necessary to enhance the interaction among

	students and between students and tutors. When interacting with the tutors or fellow students, the students can discuss problems and develop solution strategies. Second, there are the regularly scheduled presentations of the students. Each student works is assigned a topic area for the course which he or she treats in greater detail than the others. In the presentation the student shares their detailed knowledge with the other students. To ensure the maximum benefit for all students, it should be ensured that all students are present at the presentation. Third, one of the objectives of the course is to test the students' practical skills. The students will be interviewed during their attendance to observe their learning success.
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. betreute Laborarbeit + 110 Std. nicht betreute Laborarbeit + 160 Nachbearbeitung 90 hours supervised laboratory work + 110 hours unsupervised lab work + 160 hours follow-up
ECTS Credits	12
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Advanced IT Security, System Security, Security Insider Lab I - Infrastructure Security
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden verstehen etablierte und aktuelle Verwundbarkeiten und sie besitzen einen Überblick über die Randbedingungen für das Auftreten bekannter Schwachstellen. Sie erwerben Fachkenntnis der Ursachen und Auswirkungen von Angriffsvektoren. — Students understand established and new vulnerabilities and have gained an overview of the boundary conditions for the occurrence of known vulnerabilities. They acquire specialist knowledge of the causes and effects of attack vectors. Fähigkeiten / Abilities

	Die Studierenden lernen anspruchsvoller Informatik-Aufgaben unter praktisch experimenteller Anwendung des im Studium vermittelten Theorie- und Methodenwissens der Informatik zu lösen. Sie können größerer konstruktiver und experimenteller Aufgaben bearbeiten und sind in der Lage Recherche aktueller Publikationen zum übergeordneten Projektthema durchzuführen. Die Studierenden können typische softwarebasierte Verwundbarkeiten aufspüren und vermeiden. — Students learn to solve challenging computer science assignments in practical experimental conditions, applying the theories and methods of computer science. They are able to work on larger constructive and experimental tasks and are able to perform research of recent publications to the project topic. Students can track and avoid typical software-based vulnerabilities. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben berufsbefähigende Praxiskompetenz durch Durchlaufen der typischen Phasen eines Entwicklungsprojekts. Sie eignen sich Problemlösungskompetenz durch wissenschaftliches Arbeiten (unter Anleitung) mit dem Ziel, Probleme aus aktuellen Entwicklungen zu bewältigen an. Sie erarbeiten sich Transferkompetenz durch Anwendung des Theorie- und Methodenschatzes der Informatik auf komplexe Probleme und sie erlenen die Gegenseitige Vermittlung der inhaltlichen Grundlagen eines ausgewählten Teilgebiets. — Through the typical phases of a development project. They acquire problem-solving skills through scientific work (with instructions) with the aim of tackling problems of recent developments. They acquire knowledge transfer skills by applying the theories and methods of computer science to complex problems and learning the mutual exchange of the basic content of a selected sub-area.
Inhalt Course content	Das Modul beinhaltet im Bereich der Einführung in die Probleme der Softwaresicherheit, z.B. Buffer Overflows, Format-Strings, Sicherheit von Webservices (Cross-Site Scripting, SQL Injection, etc.) und Fehler in der Programmlogik. Im Bereich Konzepte und Methoden zur Herstellung von sicherer Software beinhaltet das Modul z.B. statische Analyse und Sicherheit von Programmiersprachen/-konzepten. Im Bereich Anwendung und Herstellung geeigneter technischer Hilfsmittel und Umgang mit Betriebssystem-Bordmitteln beinhaltet das Modul z.B. Shell-Befehle und –Skripte und Automatisieren wiederkehrender Aufgaben.

	— The module covers the area of introduction to the problems of security software, such as buffer overflow, format strings, security of web services (cross-site scripting, SQL injection, etc.) and errors in program logic. In the area of concepts and methods for producing secure software module includes e.g. static analysis and security of programming languages/concepts. In the area of application and preparation of suitable technical aids and working with operating system on-board tools, this module includes e.g. shell commands and scripts and automation of repetitive tasks.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Das Modul ist in Themenabschnitte unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade unterteilt. Die Studierenden erarbeiten für jeden dieser Abschnitte in vorgegebener Zeit ein Portfolio aus Protokollen (für das gesamte Modul ca. 6 Protokolle), die die Lösungen der gestellten Probleme verständlich beschreiben müssen. Das Portfolio wird nach dessen Fertigstellung präsentiert (Dauer der Präsentation: ca. 60 Minuten) Die Kombination aus Protokollen und zugehöriger Präsentation stellt sicher, dass die erarbeiteten Lösungen und das zugehörige Wissen nicht nur schriftlich dargelegt, sondern auch praktisch angewendet werden können. Zusätzlich müssen die Studierenden einen ca. 15-minütigen Vortrag zu einem der Themenabschnitte des Praktikums vorbereiten und halten. Begründung für diese zusätzliche Prüfungsleistung: Dieser Vortrag ist wichtiger Bestandteil der Ausbildung. Die Studierenden müssen einerseits in der Lage sein aktuelle und relevante Literatur eines Fachgebietes schnell zu identifizieren und zu verstehen. Da Schulungen im IT-Sicherheitsbereich essentiell sind, müssen die Studenten andererseits in der Lage sein, komplexes Wissen einem größeren Publikum in kurzer Zeit zu vermitteln. Im Praktikum bereiten die Vorträge die teilnehmenden Studierenden auf die einzelnen Themenabschnitte vor. Zusätzlich zur Bewertung durch den Dozenten, bekommt der Vortragende so direkte Rückmeldung von anderen Studenten, ob der Vortrag verständlich und ob wichtige Details enthalten waren. — The module is divided into topic segments of varying difficulty. Students develop a portfolio of protocols (about 6 protocols for the entire module), which need to describe the solutions to the problems posed for each of these segments in the specified time. The portfolio is presented after its completion (duration

	of presentations: 60 minutes). The combination of protocols and associated presentation ensures that the solutions and the associated knowledge demonstrated can not only be written down but can also be applied practically. Moreover, students must prepare and hold a 15-minute presentation on the topic segment of the practicum. Justification for this additional assessment: this presentation is an important part of training. Students must, on the one hand, be able to identify and understand current and relevant literature of a subject area quickly. However, since training in IT security is essential they must, on the other hand, be able to convey complex knowledge to a wider audience in a short time. During the practicum the presentations prepare the participating students for the individual topic segments. In addition to the evaluation by the instructor, the lecturer gets direct feedback from the other students on whether the presentation was comprehensible and whether important details were included.
Medienformen Media used	Labor, Rechner, Beamer Laboratory, computer, projector
Literatur Reading list	Richtet sich nach den (wechselnden) Aufgaben Depends on the (changing) tasks

5823	Security Insider Lab I - Infrastructure Security	PN 455002
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga	
Dozent(in) Lecturer	Posegga	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	6Ü **Es besteht Anwesenheitspflicht.** Die Anwesenheitspflicht besteht aus folgenden Gründen: Um den Erfolg der Veranstaltung zu gewährleisten ist eine verstärkte Interaktion der Stundenten untereinander aber auch zwischen Studenten und Betreuern notwendig. Bei der Interaktion mit den Betreuern oder den Kommilitonen, können die Studenten Probleme besprechen und Lösungsstrategien erarbeiten. Ein weiterer Grund sind die regelmäßig stattfindenden Präsentationen der Studenten. Jeder Student arbeitet sich frühzeitig verstärkt in ein Gebiet des Veranstaltung ein. In der Präsentation vermittelt der Student sein Spezialwissen den anderen Studenten. Damit sichergestellt wird, dass die Stundenten dieses Spezialwissen vermittelt bekommen, müssen sie anwesend sein. Der letzte Grund ist die Überprüfung der praktischen Kompetenz der Studenten. Die Studenten werden während der Anwesenheitszeit befragt um ihren Lernerfolg zu beobachten. Die Veranstaltung wurde bisher als Praktikum durchgeführt. Folgende Merkmale klassifizieren die Veranstaltung jedoch eher als Übung denn als Praktikum: regelmäßig (d.h. wöchentlich) stattfindende Termine für alle Teilnehmer, dauerhafte Aufsicht und Betreuung durch den Veranstalter und gegenseitige Vermittlung von Grundlagenwissen durch Vorträge. — **Attendance is compulsory.** This is for the following reasons: First, to ensure the success of the practicum, it is necessary to enhance the interaction	

	among students and between students and tutors. When interacting with the tutors or fellow students, the students can discuss problems and develop solution strategies. Second, there are the regularly scheduled presentations of the students. Each student works is assigned a topic area for the practicum which he or she treats in greater detail than the others. In the presentation the student shares their detailed knowledge with the other students. To ensure the maximum benefit for all students, it should be ensured that all students are present at the presentation. Third, one of the objectives of the practicum is to test the students' practical skills. The students will be interviewed during their attendance to observe their learning success.
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. betreute Laborarbeit + 110 Std. nicht betreute Laborarbeit + 160 Nachbearbeitung 90 hours supervised laboratory work + 110 hours unsupervised lab work + 160 hours follow-up
ECTS Credits	12
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	IT-Sicherheit, System Security Advanced IT Security, System Security
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen Netzwerktoppologien, Paketrouting, Adressierung in Netzwerken, Paketfilterung, vertrauenswürdige Kommunikation und grundlegende Sicherheitsprotokolle. — Students learn about network topologies, packet routing, addressing in networks, packet filtering, trusted communications and basic safety protocols. Fähigkeiten / Abilities Lösen anspruchsvoller Informatik-Aufgaben aus dem Bereich IT Sicherheit unter praktisch experimenteller Anwendung des im Studium vermittelten Theorie- und Methodenwissens. Ana-

	lyse von Networktraffic und Beurteilung der Sicherheitsrelevanz. Aufbau, Modifikation und Analyse von Virtuellen Sicherheits-Infrastrukturen, die aktuelle Sicherheitsstandards berücksichtigen. Absicherung von Sicherheits-Infrastrukturen, gegenüber Intrudern. Recherche aktueller Publikationen zum übergeordneten Projektthema. Zudem lernen die Studenten die gegenseitige Vermittlung der inhaltlichen Grundlagen. — Solve challenging computer science tasks in the field of IT security under practical experimental application of operations in the study of theories and methods. Analysis of network traffic and assessment of its relevance to security. Construction, modification and analysis of virtual security infrastructures in consideration of the latest security standards. Protection of security infrastructures against intruders. Research in the latest scientific literature on the project topic. Finally, students learn to relate the theoretical underpinnings to each other. Kompetenzen / Competencies Beurteilung der Sicherheitseigenschaften von Sicherheits-Infrastrukturen. Problemlösungskompetenz und Transferkompetenz, der Theorie- und Methodenschatz der Informatik kann auf komplexe, praktische Probleme der IT Sicherheit angewendet werden. Bearbeitung komplexer, konstruktiver und experimenteller Aufgaben aus dem Bereich Netzwerk- und Infrastruktursicherheit. — Assessment of the security properties of security infrastructures. Problem-solving skills and knowledge transfer skills; ability to apply the theories and methods of computer science to complex, practical problems of IT security. Ability to process complex, constructive and experimental problems in the field of network and infrastructure security.
Inhalt Course content	Das Modul beinhaltet im Bereich Linux / Windows Betriebssysteme & Netzwerk Grundlagen zum Beispiel die Installation von Windows, Linux, VMWare und das Aufsetzen virtueller Netze mit VMware. Unter anderem werden im Bereich der network monitoring & analysis tools die Funktionsweise, Fähigkeiten, Unterschiede und Grenzen der tools untersucht. Der Bereich Public Key Infrastrukturen umfasst beispielsweise die Inhalte eines Zertifikats, Generierung und Validierung von Zertifikaten, Content-Revocation-Lists und Einsatzmöglichkeiten von zertifikatgestützter Kommunikation. Der Bereich Firewalls/Paketfilter umfasst auch die Installation, Konfiguration, Testen, das Aufstellen, Verstehen und Anpassen von Regelwerken und die strategische Planung.

	Der Bereich Virtual Private Networks umfasst zum Beispiel das Aufsetzen/Einrichten von VPNs, der Definition von Subnetzen, Konfiguration des Routing und die Validierung sicherer Tunnel. — The module includes, e.g. in the in Linux/Windows Operating Systems & Network Basics segment, the installation of Windows, Linux, VMWare and setting up virtual networks with VMware. Among other things, in the field of network monitoring and analysis tools, the operation, capabilities, differences and limitations of the tools are investigated. The Public Key Infrastructures segment, for example, includes the contents of a certificate, generation and validation of certificates, revocation lists and content of applications for certificate-based communications. The firewall/packet filter segment of the module includes the installation, configuration, testing, installation, understanding and adapting regulations and strategic planning. The range includes virtual private networks such as setting up VPNs, the definition of subnets, routing configration and secure-tunnel validation.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Das Modul ist in Themenabschnitte unterschiedlicher Schwierigkeitsgrade unterteilt. Die Studierenden erarbeiten für jeden dieser Abschnitte in vorgegebener Zeit ein Portfolio aus Protokollen (für das gesamte Modul ca. 6 Protokolle), die die Lösungen der gestellten Probleme verständlich beschreiben müssen. Das Portfolio wird nach dessen Fertigstellung präsentiert (Dauer der Präsentation: ca. 60 Minuten) Die Kombination aus Protokollen und zugehöriger Präsentation stellt sicher, dass die erarbeiteten Lösungen und das zugehörige Wissen nicht nur schriftlich dargelegt, sondern auch praktisch angewendet werden können. Zusätzlich müssen die Studierenden einen ca. 15-minütigen Vortrag zu einem der Themenabschnitte des Praktikums vorbereiten und halten. Begründung für diese zusätzliche Prüfungsleistung: Dieser Vortrag ist wichtiger Bestandteil der Ausbildung. Die Studierenden müssen einerseits in der Lage sein aktuelle und relevante Literatur eines Fachgebietes schnell zu identifizieren und zu verstehen. Da Schulungen im IT-Sicherheitsbereich essentiell sind, müssen die Studenten andererseits in der Lage sein, komplexes Wissen einem größeren Publikum in kurzer Zeit zu vermitteln. Im Praktikum bereiten die Vorträge die teilnehmenden Studierenden auf die einzelnen Themenabschnitte vor. Zusätzlich zur Bewertung durch den Dozenten, bekommt der

	Vortragende so direkte Rückmeldung von anderen Studenten, ob der Vortrag verständlich und ob wichtige Details enthalten waren. — The module is divided into topic segments of varying difficulty. Students develop a portfolio of protocols (about 6 protocols for the entire module), which need to describe the solutions to the problems posed for each of these segments in the specified time. The portfolio is presented after its completion (duration of presentations: 60 minutes). The combination of protocols and associated presentation ensures that the solutions and the associated knowledge demonstrated can not only be written down but can also be applied practically. Moreover, students must prepare and hold a 15-minute presentation on the topic segment of the practicum. Justification for this additional assessment: this presentation is an important part of training. Students must, on the one hand, be able to identify and understand current and relevant literature of a subject area quickly. However, since training in IT security is essential they must, on the other hand, be able to convey complex knowledge to a wider audience in a short time. During the practicum the presentations prepare the participating students for the individual topic segments. In addition to the evaluation by the instructor, the lecturer gets direct feedback from the other students on whether the presentation was comprehensible and whether important details were included.
Medienformen Media used	Labor, Rechner, Beamer Laboratory, computer, projector
Literatur Reading list	Richtet sich nach den (wechselnden) Aufgaben Depends on the (changing) tasks

5824	Cloud Security	PN 455359
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Reiser	
Dozent(in) Lecturer	Reiser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	IT-Sicherheit Advanced IT Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen Sicherheits-Attribute (Authentizität, Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit), verschiedene Systemmodelle und deren Sicherheits-Risiken, Ansätze und Verfahren zur Realisierung von Zugriffssteuerung in Informationssystemen, Verfahren und Modelle für Berechtigungsmanage-	

	ment, Strategien zur Datenspeicherung und Metriken der Datensicherheit. — Students learn about security attributes (authenticity, confidentiality, integrity, availability), various system models and their security risks, approaches and methods for implementing access control in information systems, procedures and models for authorization management, strategies for data storage and metrics of data security. Fähigkeiten / Abilities Sie lernen Kryptographische Techniken in der Praxis einzusetzen, Sicherheitskonzepte für Informationssysteme zu entwerfen und zu implementieren, Autorisierungs- und Authentisierungsinfrastrukturen zu entwerfen und zu nutzen sowie Systeme in Bezug auf ihre Sicherheit zu bewerten. — They learn to use cryptographic techniques in practice to design and implement security policies for information systems, to design and to use authorization and authentication infrastructures, and to evaluate systems in terms of their safety. Kompetenzen / Competencies Sie erlernen die Sicherheit von vorhandenen Informationssystemen analysieren und beurteilen zu können, Alternativen bei der Planung von Sicherheitslösungen für Informationssysteme abwägen zu können sowie Vor- und Nachteile von Sicherheitskonzepten für verteilte Informationssysteme abhängig von Einsatzzweck und Systemarchitektur bewerten zu können. — They learn to analyze and evaluate the safety of existing information systems and to be able to weigh alternatives in the design of security solutions for information systems as well as evaluating the advantages and disadvantages of security concepts for distributed information systems depending on the application and system architecture.
Inhalt Course content	Das Modul beinhaltet die Themen Authentisierungsverfahren, Zugriffskontrolle wie Mandatory Access Control (MAC), Discretionalry Access Control (DAC), Access Control Lists (ACLs), Role-based Access Control (RBAC); Benutzerverwaltung, Identity Management, Praktisches Sicherheitsmanagement wie Schutzziele, Risiken, Sicherheitspolitiken; Aktuelle Trends wie veränderte Rahmenbedingungen für IT-Sicherheit durch zunehmende mobile Vernetzung, Cloud-Computing und Dezentralisierung. — The module includes the topics of authentication methods,

	access control, such as Mandatory Access Control (MAC) Discretionalry Access Control (DAC), Access Control Lists (ACLs), Role-based Access Control (RBAC), user management, identity management, Practical safety management as protection objectives, risks, security policies; Current trends such as changing conditions of IT security by increasing mobile networking, cloud computing and decentralization.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolioprüfung: Bearbeitung eines etwa 6-wöchigen Semesterprojekts, nachgewiesen durch ein ca. 10-minütiges Kolloquium mit Präsentation der eigenen Konzepte und Ergebnisse 60 Minuten Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung jeweils in deutscher oder englischer Sprache und je nach Anzahl der Hörer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben — Portfolio: Project (approx. 6 weeks), assessed in a presentation (approx. 10 min) of the concepts and the results 60-minute written examination or approx. 20-minute oral examination, depending on the number of listeners, in German or English. The exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Nach Ansage in der Vorlesung Announced during the lecture

5831	Kryptoanalyse Cryptanalysis	PN 482102
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Alle vier Semester Every four semesters	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Zumbrägel	
Dozent(in) Lecturer	Zumbrägel	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ oder „AlgMath“ Focus „IT-SecRel“ or „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algebra und Zahlentheorie I + II, Kryptographie Algebra and Number Theory I + II, Cryptography	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen Methoden aus der algorithmischen Algebra und der Kryptologie. — The students know methods from algorithmic algebra and	

	cryptology. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden besitzen Fähigkeiten zur algebraischen Modellierung und können grundlegende kryptologische Algorithmen analysieren und implementieren. — The students possess abilities for algebraic modelling and can analyse and implement basic cryptologic algorithms. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind mit der Analyse von Kryptoverfahren vertraut. — The students are familiar with the analysis of cryptographic protocols.
Inhalt Course content	Zahlentheoretische und algebraische Methoden, im Hinblick auf die Analyse kryptographischer Verfahren. Folgende Themen sind geplant: Einführung in die algorithmische Zahlentheorie und die Computeralgebra. Grundlagen der algebraischen Zahlentheorie und der Theorie endlicher Körper. Kryptologie, Gitterreduktion, Faktorisierungsproblem, diskretes Logarithmusproblem. Theorie und Praxis von Rekordberechnungen für diskrete Logarithmen. — This course deals with number-theoretic and algebraic methods with a view towards analysing cryptographic protocols. The following topics are planned: Introduction to algorithmic number theory and computer algebra. Fundamentals of algebraic number theory and finite fields. Cryptology, lattice reduction, factorisation problem, discrete logarithm problem. Theory and practice of record computations for discrete logarithms.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur (120 Min.) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Min.). Die Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120 minutes written exam or 30 minutes oral exam. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Beamer, Tafel Presentation, blackboard
Literatur Reading list	N. Koblitz: Algebraic aspects of cryptography. Springer 1998. A. J. Menezes, P. C. v. Oorshot, S. A. Vanstone: Handbook of Applied Cryptography. CRC Press 1996.

5832	Algebra und Zahlentheorie I Algebra and Number Theory I	PN 405149
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kreuzer	
Dozent(in) Lecturer	Kaiser, Kreuzer, Zumbrägel	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II Linear Algebra I + II, Analysis I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik Bachelor Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen algebraische Strukturen und Homomorphismen im Sinne der universellen Algebra. Sie verfügen über zahlreiche Beispiele algebraischer Strukturen und kennen einige ihrer grundlegenden Eigenschaften. Sie kennen die	

	Axiomatik der natürlichen Zahlen und den sukzessiven Aufbau anderer Zahlbereiche aus den natürlichen Zahlen. — Students get familiar with algebraic structures and morphisms in the sense of universal algebra. They know numerous examples of algebraic structures and some of their basic properties. They know the axioms of natural numbers and the gradual development of other numerical ranges of natural numbers. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können in elementaren algebraischen Strukturen einfache Beweise führen. — Students can perform simple proofs in elementary algebraic structures. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erkennen übergeordnete Konzepte in der Algebra und können spezielle algebraische Strukturen in einen größeren Kontext einordnen. — The students recognize higher-level concepts in algebra and algebraic structures can place them in a larger context.
Inhalt Course content	Algebraische Strukturen werden mit den Methoden der universellen Algebra allgemein eingeführt. Generische Methoden, etwa Termmodelle werden erläutert. Es werden zahlreiche spezielle Klassen algebraischer Strukturen vorgestellt. Eingehend wird der Aufbau des Zahlsystems (natürliche Zahlen, ganze Zahlen, rationale Zahlen, reelle Zahlen, komplexe Zahlen) beschrieben. Die Strukturanalyse algebraischer Strukturen wird anhand der endlichen Gruppentheorie erläutert. — Algebraic structures are generally introduced by the methods of universal algebra. Generic methods, such term models are explained. Various special classes of algebraic structures are presented. Inbound, the structure of the number system (natural numbers, integers, rational numbers, real numbers, complex numbers) is described. Structural analysis of algebraic structures is illustrated by the finite group theory.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120 Minuten Klausur 120 minutes written exam
Medienformen Media used	Beamer, Overhead-Folien oder Tafel Presentation and overhead projector, blackboard
Literatur Reading list	z.B. P.M. Cohn, Universal Algebra (Springer) und M. Artin, Algebra (Birkhäuser)

5835	Ringe und Moduln Rings and Modules	PN 455364
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Zumbrägel	
Dozent(in) Lecturer	Zumbrägel	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algebra und Zahlentheorie I + II Algebra and Number Theory I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen grundlegende Begriffe aus der Theorie der Ringe und Moduln. — The students know fundamental notions from the theory of	

	rings and modules. Fähigkeiten / Abilities Konzepte der Modultheorie können einsetzt werden, um die Struktur von Ringen zu untersuchen. — Concepts from module theory can be utilised for investigating the structure of rings. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind mit Methoden und Anwendungen der Modultheorie vertraut. — The students are familiar with notions and applications of module theory.
Inhalt Course content	Die Vorlesung behandelt Grundlagen der Theorie der (nichtkommutativen) Ringe und ihrer Moduln, sowie einige Anwendungen. Folgende Themen sind geplant: Ringe, Moduln und Homomorphismen. Direkte Summen und Produkte. Halbeinfache Moduln. Endlichkeitsbedingungen für Moduln. Klassische Resultate über die Ringstruktur. Projektive und injektive Moduln. Aspekte der ringlinearen Codierungstheorie. — The course deals with foundations of the theory of (noncommutative) rings and their modules, as well as some applications. The following topics are planned: Rings, modules and homomorphisms. Direct sums and products. Semisimple modules. Finiteness conditions for modules. Classical ring-structure theorems. Projective and injective modules. Aspects of ringlinear coding theory.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur (120 Min.) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Min.). Die Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120 minutes written exam or 30 minutes oral exam. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Beamer, Tafel Presentation, blackboard
Literatur Reading list	Frank W. Anderson, Kent R. Fuller, Rings and Categories of Modules, Springer (1992) Tsit-Yuen Lam, Lectures on Modules and Rings, Springer (1999) Friedrich Kasch, Moduln und Ringe, Teubner (1977)

5836	Elliptic Curves	PN 422120
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Zumbrägel	
Dozent(in) Lecturer	Zumbrägel	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algebra und Zahlentheorie I + II Algebra and Number Theory I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	The students acquire basic notions from algebraic geometry and algebraic curves. They learn about the theory of elliptic curves, in particular their arithmetic. The students are able to utilise these concepts for cryptography applications.	
Inhalt	This course deals with the theory of elliptic curves from a geo-	

Course content	metry, arithmetic and cryptography viewpoint. The following topics are planned: Algebraic varieties. Algebraic curves, Riemann-Roch theorem. The geometry of elliptic curves. Isogenies. Elliptic curves over finite fields. Algorithmic aspects, discrete logarithm, pairing-based cryptography.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur (120 Min.) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Min.). Die Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120 minutes written exam or 30 minutes oral exam. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	Joseph H. Silverman, The Arithmetic of Elliptic Curves, Springer (1986) Lawrence C. Washington, Elliptic Curves: Number Theory and Cryptography, CRC Press (2003)

5838	Information Theory	PN 455440
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Zumbrägel	
Dozent(in) Lecturer	Zumbrägel	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra, Wahrscheinlichkeitstheorie Linear Algebra, Probability Theory	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	The students learn the mathematical foundations of informateion theory and acquire probabilistic and constructive proof methods. They are able to apply these concepts to address source coding and channel coding problems and can recognize information theoretic concepts in related areas.	

Inhalt Course content	Information theory deals with two fundamental questions in communication theory, namely the limits of data compression and the ultimate transmission rate of communication. In this course, the mathematical notions to address these problems are being developed. The following topics are planned: Entropy, Mutual Information and Data Compression, Channel Capacity and Shannon's Noisy Coding Theorem, Time permitting, an introduction to Universal Source Coding, Kolmogorov Complexity and Network Information Theory.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur (120 Min.) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Min.). Die Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120 minutes written exam or 30 minutes oral exam. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	Thomas M. Cover and Joy A.Thomas, Elements for Information Theory, John Wiley & Sons (2006)

5842	Programming Styles	PN 455377
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Gambi	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 105 Std. Übungsaufgaben, Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 105 hours exercises, independent study and assignment preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, SEP, Programmierung I + II Software Engineering, SEP, Programming I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Studierende erlernen fundamentalle Programmierkonzepte, welche die wichtigsten Programmierstile wie Prozedurale, Objekt-Orientierte, Funktionale, Verteilte, Daten-zentrierte, und Reaktive Programmierung. —	

	The students learn fundamental concepts of programming that define the most important programming styles such as procedural, object-origented, functional, distributed/concurrent, data-centric and reactive. Fähigkeiten / Abilities Teilnehmer erkennen Programmierstile und darunterliegende theoretische Konzepte. Teilnehmende können in verschiedenen Stilen programmieren, die Unterschiede benennen, und die Stile an Randbedingungen anpassen. — The participants learn to identify the style(s) used to implement various programs, explain the rationales behind this choice, and write programs in different styles such that the programs respect the constraints imposed by programming language and the runtime environment (e.g., memory constraint, distributed systems, unreliable infrastrucure). Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erlernen theoretische und praktische Kompetenzen in der Programmierung und im Programmentwurf unabhängig von der Programmiersprache. — The participants will learn theoretical and practical skills in programming independently of the programming language used.
Inhalt Course content	• Encapsulation • Publish-subscribe • Inversion of Control, Dependency Injection • Abstract, higher-order, pure, lamba functions • Monads, Currying • Dynamic Lookup • Composition, Continuation • Class-based and Prototype-based • Styles: – Things – Bulletting Board – Hollywood – Pipeline – Letterbox – Closedmaps – The One – Quarantine
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Porfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-

	Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercises
Literatur Reading list	Lopes, Cristina Videira. Exercises in programming style. Chapman and Hall/CRC, 2016.

5843	Software-Analyse Software Analysis	PN 455368
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Fraser	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II, SEP Software Engineering, Programming I + II, SEP	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erlernen Basiskonzepte der Analyse von Software und fortgeschrittene Methoden zur Fehlerfindung. Die Konzepte umfassen statische Methoden der Sourcecode-Analyse, dynamische Methoden der Laufzeitana-	

	lyse, Bytecodeinstrumentierung, Testmethoden, automatisierte Debugging- und Testmethoden, Fehlervorhersage, sowie automatisierte Korrektheitsbeweise. — Students learn about the basic concepts of software analysis and advanced methods of identifying software defects. The concepts include static source code analysis, dynamic program analysis, bytecode instrumentation, testing methods, automated debugging and fault localisation, defect prediction, as well as formal verification. Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer lernen die wichtigsten Methoden zum Analysieren von Softwaresystemen kennen. Insbesondere sind sie in der Lage, Analysemethoden programmiertechnisch umzusetzen. Die dazu benötigten grundlegenden Algorithmen können die Studierenden erklären und ggf. mit alternativen Algorithmen vergleichen. — The participants are familiar with the most important methods for analysing software systems and are able to implement these. They can explain the basic algorithms used in their implementation and compare them with alternative ones. Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erlernen theoretische und praktische Kompetenzen in der Konzeption, Umsetzung und Evaluierung von Softwareanalysen. Weiterhin sind die Studierenden befähigt, einzelne Analysen auch auf andere Problemstellungen und Analyseziele anzupassen. — The participants gain theoretical and practical competencies concerning the conception, implementation and evaluation of software analyses. In addition, they are able to adapt individual analyses to different problems and purposes.
Inhalt Course content	The course covers the following topics: • Control- and Dataflow Analysis • Code Clone Detection • Slicing • Fault localisation • Fuzzing • Defect prediction • Abstract Interpretation • Symbolic Execution • Software model checking • Program repair • Reverse engineering

Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Porfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercises
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekanntgegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben. Will be announced in the lectures. Further reading will be announced for the individual assignments.

5844	Advanced Software Product Development	PN 455317
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Fraser	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2Ü+4P	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 210 Std. Vor- und Nachbearbeitung des Praktikums 90 contact hours + 210 hours independent study	
ECTS Credits	10	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung I + II, SEP, Software Engineering Programming I + II, SEP, Software Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erlernen Methoden und Techniken zur Entwicklung eines Software Systems aus einer holistischen Sicht, von der Ideenfindung, über die Konzeption und Analyse der Anforderungen, bis hin zum fertigen Produkt und dessen Vermarktung. —	

	The students learn holistic methods and techniques for developing software systems from ideation over the conception and requirements analysis to the finished product and its marketing. Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer erwerben die Fähigkeit, Methoden, Praktiken und Tools der agilen Softwareentwicklung zur Entwicklung umfangreicher Softwaresysteme zielgerichtet einzusetzen und auf neue Probleme bis hin zur Produktreife zu übertragen. — The participants gain the ability to apply methods, practices and tools of agile software development to produce extensive software systems and transfer them to new problems as far as production readiness. Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erwerben Kompetenzen auf technischer, methodischer und auf organisatorischer Ebene. Sie sind in der Lage, für ein gegebenes Problem Anforderungen zu erfassen, ein Design sowohl auf technischer als auch auf Benutzerebene zu erstellen, und dieses effizient umzusetzen. — The participants gain technical, methodical and organizational knowledge. They are able to determine the requirements for a given problem, to create a design at a technical and user level, and to implement it efficiently.
Inhalt Course content	Studierende bearbeiten eine Problemstellung, die als grober thematischer Rahmen vorgegeben wird. Aus diesem Rahmen heraus entwickeln die Studierenden konkrete Lösungsideen, welche schrittweise verfeinert und zu einem Produkt entwickelt werden. Ausgangspunkte für die Problemstellungen bilden technische oder gesellschaftliche Fragestellungen, welche zu Beginn der Veranstaltung ausgewählt werden. Zentral sind hierbei auch die Problemstellungen, welche aktuelle Themen des Software Engineering formen, etwa Data Science oder Machine Learning. Dabei werden in der Veranstaltung immer mindestens die folgenden Grundthemen behandelt: • Anforderungsanalyse mit User Stories • Agile Entwicklung mit Scrum/Kanban/Scrumban • Test Driven Development • UX Design • Marketing • Rechtliche Aspekte (Copyright, Lizenzen, etc.) • Gründung/StartUp Übergeordnetes und erwünschtes Ergebnis der Arbeiten ist ein potenziell vermarktbares Produkt, d.h. eine Software, die allen

	wesentlichen Qualitätsanforderungen an eine produktiv einsetzbare Software entspricht und einen für ein erfolgreiches Produkt ausreichend großen Nutzerkreis erreichen kann. Studierende erhalten theoretische Grundlagen in Vorträgen, und erarbeiten in kleinen Teams eine Lösung für das Problem. Dabei folgen die Studierenden einem agilen Vorgehensmodell in Iterationen mit rotierenden Rollen, inklusive regelmäßiger Review- und Planungstreffen; beginnend bei eigener Anforderungsanalyse, bis hin zur Endabnahme und Vermarktung. — Given a technical or social issue announced at the beginning of the course, students develop their own solutions to the topic, which they refine step by step. For this, current issues in software engineering such as data science and machine learning play a central role. The course covers at least the following topics: • Requirements analysis with user stories • Agile development with Scrum/Kanban/Scrumban • Test driven development • UX design • Marketing • Legal aspects (copyright, license, etc.) • StartUp The desired result is a marketable product meeting all central quality requirements a deployable software should meet as well as a broad spectrum of potential users. Students gain knowledge about the theoretical foundations through presentations. Participants work in small teams to come up with a solution using an agile process model with rotating roles including regular meetings for review and planning.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind: Dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für einzelne Module, Live-Systemdemonstration, technischer Bericht, Burndown-Charts und Prozessdokumentation, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, Abschlusspräsentation der erstellten Software und der verwendeten Methodiken mit anschließenden mündlichen Prüfungsfragen Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. — Portfolio-exam. Possible components of the portfolio include: Documented, compilable source code of all software components,Live demonstrations, Technical report, Burndown-charts and documentation of development process, Presenta-

	tions of individual components and steps, Final presentation of the software product and the methodology applied with oral examination. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercises
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben. Will be announced in the lectures. Further reading will be announced for the individual assignments.

5845	Search-Based Software Engineering	PN 455378
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser	
Dozent(in) Lecturer	Fraser	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II, SEP Software Engineering, Programming I + II, SEP	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Search-based Software Engineering (SBSE) beschreibt die Anwendung meta-heuristischer Suchverfahren wie genetische Algorithmen, Simulated Annealing, oder Tabu Search, auf Software Engineering Probleme. Die Vorlesung deckt theoretische Grundlagen meta-heuristischer Suchverfahren ab (lo-	

kale Suchverfahren und Populations-basierte Verfahren wie Genetische Algorithmen oder Particle Swarm Optimisation) und deren Anwendung auf Softwareentwicklungsprobleme des gesamten Softwareentwicklungsprozesses (Requirements, Design, Planung, Testing, Wartung, etc). Die Studierenden erlernen theoretische Grundlagen meta-heuristischer Suchverfahren und die wichtigsten Algorithmen lokaler und populationsbasierter Suchalgorithmen sowie Basiskonzepte der Optimierungsprobleme in der Softwareentwicklung.

—

Search-based software engineering (SBSE) applies metaheuristic search techniques such as genetic algorithms, simulated annealing and tabu search to software engineering problems. This course covers the theory of major classes of metaheuristic optimisation algorithms, including local search algorithms and population based optimisation (such as genetic algorithms and particle swarm optimisation) and their application to software engineering problems across the software development lifecycle (requirements, design, planning, testing, maintenance, etc). Participants will learn the fundamental basics of metaheuristic search, as well as essential local and population-based search algorithms and their application areas in software engineering.

Fähigkeiten / Abilities

Die Teilnehmer kennen die wichtigsten meta-heurstischen Suchalgorithmen und deren Anwendungsgebiete in der Softwareentwicklung. Sie sind in der Lage, Optimierungsansätze programmiertechnisch umzusetzen. Dazu benötigte grundlegende Algorithmen können sie erklären und vergleichen.

—

Participants know the most important meta-heuristic search algorithms and their application areas in software engineering. They will be able to implement, explain and compare relevant algorithms.

Kompetenzen / Competencies

Die Teilnehmer erlernen theoretische und praktische Kompetenzen in der Konzeption, Umsetzung und Evaluierung von Suchverfahren in der Anwendung auf Softwareentwicklungs-Probleme. Die Studierendens sind befähigt, einzelne Optimierungsansätze auch auf andere Problemstellungen anzupassen.

—

Participants learn theoretical and practical competencies for the conception, implementation, and evaluation of search algorithms and their application to problems in software engineering. In particular, participants will be able to implement

	these algorithms and apply them to new problems.
Inhalt Course content	• Local Search • Evolutionary Algorithms • Multi-Objective Optimisation • Memetic Algorithms • Novelty Search • Parallel Search • Search-based Testing • Genetic Programming • Genetic Improvement • Program Repair
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Porfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercises
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekanntgegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben. Will be announced in the lectures. Further reading will be announced for the individual assignments.

5850	Mobile Security	PN 455411
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Tiwari	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung I + II, SEP, Software Engineering Programming I + II, SEP, Software Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students learn the internals of Android apps. These concepts include a thorough understanding of the Android framework, safe practices of designing the Android apps, potential causes of Security Vulnerabilities in Android apps, and potential ways to detect and avoid these attacks.	

	Fähigkeiten / Abilities The participants will know the Android app's internals and the state-of-the-art software techniques to analyze the Android apps. They will create tools to detect various security attacks and privacy leaks in Android apps. Kompetenzen / Competencies The participants learn theoretical and practical skills of the Android framework. The participants can reuse state-of-art and write their analyses to detect and tackle vulnerabilities and privacy leaks in Android apps.
Inhalt Course content	This course aims to provide a solid foundation on Android application security. The key highlights of the course are: • Understanding the Android app's internals • Understanding the state-of-the-art software techniques to analyze an Android app • Finding Android malware and vulnerable apps • Designing secure Android apps The following is the detailed catalog: • Android app Internals • Reverse engineering tools • Introduction to static analysis • IFC on Android apps • Security attacks and their mitigation • Modular Inter app communication analysis • Hybrid apps and their privacy implications
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Eckpunkte einer Portofolio-Prüfung: • 3-4 Projektteile zur Implementierung (teilweise in Gruppenarbeit) • 3-4 Teilpräsentationen max 15 min • 1 Abschlusspräsentation max 20 min • technische Berichte max 20 Seiten Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercise sheets

Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5851	Software Process Engineering	PN 455369
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kuhrmann	
Dozent(in) Lecturer	Kuhrmann	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II Software Engineering, Programming I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erlernen die Grundlagen des Softwareentwicklungsprozesses, die unterschiedlichen Basisprozesse und agilen Methoden, die Konzepte hinter dem Softwareentwicklungsprozess und die Methoden zur Entwicklung und Einführung organisationsweiter und projektspezifischer Entwick-	

lungsprozesse. Auf der Basis eines Lifecycle-Modells erlernen die Studierenden die Analyse von Prozessanforderungen, das Design von Prozessmodellen, Techniken zur Evaluation der Prozessperformanz und die Entwicklung von prozessverbessernden Maßnahmen.

—

Students learn the foundations of the software process, the different base processes and agile methods, the concepts behind software processes, and the methods used to define and to deploy organization-wide and project-specific development models. Using a process life cycle model, students learn to analyze process requirements, to design processes, to evaluate process performance and to design process improvements.

Fähigkeiten / Abilities

Die in der Vorlesung vermittelten Kenntnisse über die Methoden und Techniken des Prozessentwurfs werden in den Übungen in Einzel- und Kleingruppenaufgaben vertieft, die sowohl theoretische als auch praktische Aufgaben enthalten.

—

Knowledge from the lectures will be trained and refined in exercises. Exercises include theoretical tasks and mini-projects performed in small groups.

Kompetenzen / Competencies

Die Studierenden sind in der Lage, Methoden und Praktiken für spezifische Projektsituationen auszuwählen und diese in projektspezifischen hybriden Projektprozessen zu kombinieren. Weiterhin verstehen die Studierenden Unternehmensanforderungen an die Prozesse und sind in der Lage, Konzepte des Qualitätsmanagements anzuwenden, um unternehmensweite Prozessstandards einzuführen, Prozessperformanz zu messen und Prozessverbesserungsprojekte durchzuführen. Die Studierenden sind in der Lage, Prozesse zu analysieren, individualisierte Prozesse zu entwerfen und Vorschläge zur Prozessverbesserung zu entwickeln. Weiterhin sind die Studierenden in der Lage, einfache Messinstrument zur Ermittlung der Prozessperformanz und zur Analyse der Stärken und Schwächen zu entwickeln und anzuwenden.

—

Students are able to select methods and practices for specific project setups and to combine them in project-specific hybrid development methods. Furthermore, students understand organization-level requirements and can apply quality management concepts and methods for company-wide process standards, process measurement and process improvement. Students are able to analyze processes, to design individualized

	processes, and to design process improvement proposals. Furthermore, students are able to set up a basic measurement instrument to evaluate process performance and to analyze strengths and weaknesses of software processes.
Inhalt Course content	This course includes the basic as well as advanced concepts, methods and techniques in process engineering, notably: • Basic software process models, e.g., phase/ stage-gate models, Waterfall, Spiral model • Agile and lean software development methods, e.g., Scrum, Kanban • Agile Scaling Models, e.g., SAFe, Less • Hybrid development methods, e.g., the Water-Scrum-Fall • Process quality and maturity models, e.g., CMMI, ISO 15504 • Software Process Lines • Software Process Improvement (SPI) • Software process metamodels • Techniques to tailor software processes to organizations and projects • Advanced techniques to analyze, design, realize, and evolve software processes • Quality management concepts and methods to measure project performance and to improve company-wide and project-specific development methods
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-Min.-Klausur oder Portfolioprüfung 90-minute written examination or portfolio exam
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer und Tafel, Übungsaufgaben Presentation with projector and blackboard, exercise sheets
Literatur Reading list	Münch, Armbrust, Kowalczyk, Soto: Software Process Definition and Management. Springer, 2012. Kuhrmann, Münch, Richardson, Rausch, Zhang: Managing Software Process Evolution. Springer, 2016 Kneuper: Software Processes and Life Cycle Models: An Introduction to Modeling, Using and Managing Agile, Plan-Driven and Hybrid Processes. Springer, 2018

5851	Program Repair	PN 455407
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer, Tiwari	
Dozent(in) Lecturer	Hammer, Tiwari	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. selbstständige Arbeit und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II, SEP, Algebra und Logik Software Engineering, Programming I + II, SEP, Algebra and Logic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students learn the basic foundation of the program repair process. These concepts include a thorough understanding of bug detection, patch creation, and risk involved during the	

	program repair process. This course also exposes the students to understand and analyze the bugs in industrial software. Various repairs for specific problems and their applicability in the bug-specific situation are discussed. Fähigkeiten / Abilities The participants will know the state-of-the-art software techniques to PR. They will create tools to employ current and new techniques of Program Repair. Kompetenzen / Competencies The participants will obtain the theoretical and practical skills required to develop automated program repair techniques. They can reuse state-of-art and write their own techniques to tackle known problems with Program Repair techniques.
Inhalt Course content	The reliance on open-source software exposes our infrastructures to software bugs. Many software systems are shipped with both know and unknown bugs/vulnerabilities. Particularly, identifying and repairing bugs/vulnerabilities presents considerable hurdles. "Put simply: Bugs are ubiquitous, and finding and repairing them are difficult, time-consuming, and manual processes." Program repair is a relatively new technique that aims to automatically find and correct flaws in software. This course aims to provide a solid foundation on various Program Repair techniques. Following are the key insights: • Understanding the components involved in Program Repair techniques. • Learn the challenges and open-ended problems in Program Repair. • Learn from the application— Apply various Program Repair techniques to open-sourced projects. • Create and design practical Program Repair techniques. The following is the detailed catalogue: • Introduction to program analysis and automated program repair • Fault localization— Spectrum based & Semantic-based • Search-based (Generate & Validate) Program repair — Genetic mutation-based & Historical based PR • Semantic-based Program repair — Symbolic Execution based & Static analysis based PR • Challenges in Program Repair — Overfitting & Ranking • Learning-based program repair — Neural Repair • Real World applicability of PR tools — Solution and challenges
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter

	und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Eckpunkte einer Portofolio-Prüfung (einige Teile fakultativ): • 3-4 Projektteile zur Implementierung (teilweise in Gruppenarbeit) • 3-4 Teilpräsentationen max 15 min • 1 Abschlusspräsentation max 20 min • technische Berichte max 20 Seiten Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam of portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5852	Reverse and Reengineering	PN 455418
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes 2. Wintersemester Every other winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Compiler Construction or Software Analysis	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden sind mit den Techniken der Analyse und Refactoring von nicht-spezifizierten oder gealterten Softwaresystemen, sowohl mit als auch ohne Verfügbarkeit von Sourcecode, insbesondere mit Hilfe von (halb-)automatischen Analyse vertraut.	

	Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, prototypische Systeme zur Rekonstruktion der Programmsemantik und Transformation in ein softwaretechnisch verbessertes System eigenständig zu erstellen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, Software Entwicklungsarbeiten mit der Erstellung kleinerer, domänenspezifischer Systeme zur Rekonstruktion der Programmsemantik zu unterstützen oder Verbesserung der Programmstruktur an größeren Softwaresystemen vorzunehmen.
Inhalt Course content	Reverse Engineering von Programmen aus dritter Hand in prozessorspezifischen Binärformaten als auch Zwischencodes. Auswirkungen von Verschleierungstechniken auf diesen Prozess. Transformation in eine zur Weiterverarbeitung passende Repräsentation, Rekonstruktion von höhersprachlichen Daten- und Kontrollstrukturen. Programmanalysen zur Verbesserung des Programmverstehens. Automatisches Refactoring zur Verbesserung der Programmstruktur.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Eckpunkte einer Portofolio-Prüfung (einige Teile fakultativ): • 3-4 Projektteile zur Implementierung (teilweise in Gruppenarbeit) • 3-4 Teilpräsentationen max 15 min • 1 Abschlusspräsentation max 20 min • technische Berichte max 20 Seiten Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5853 Empirische Methoden des Software Engineering Empirical Methods for Software Engineering	PN 455375
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kuhrmann
Dozent(in) Lecturer	Kuhrmann
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. selbstständige Arbeit/Projektarbeit und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours independent study and exam preparation and project work
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II Software Engineering, Programming I + II
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Nach der Beendigung dieser Lehrveranstaltung werden Studierende: • Empirische Methoden zur Evaluierung von wissenschaftlichen Fragestellungen kennen und anwenden können

	• Wissenschaftliche Aussagen kritisch hinterfragen können und deren Zuverlässigkeit einschätzen können • Befähigt sein eine geeignete Evaluierungsmethode für eine wissenschaftliche Fragestellung begründet auszuwählen • In Abschlussarbeiten eine geeignete Evaluierung durchführen können — After the course, students: • Know and can use empirical methods for evaluating scientific problems. • Can challenge scientific statements and can evaluate their reliability. • Can select proper scientific methods to work on a scientific problem. • Can provide a proper evaluation for their thesis and other study-related work.
Inhalt Course content	Neue Ergebnisse in der Informatik (und insbesondere in der Softwaretechnik) haben oft zum Ziel, dass ein System bessere Qualität hat, geringere Kosten verursacht, schneller ist, wartbarer ist, oder von Benutzern besser verstanden wird. Aber wie lassen sich solche Aussagen belegen, insbesondere wenn Benutzer involviert sind? Die Vorlesung stellt verschiedene empirische Methoden zur Evaluierung vor und diskutiert, welche Evaluierung für welche Fragestellungen geeignet ist. Beispiele werden überwiegend aus dem Bereich Softwaretechnik entnommen. Inhalte der Vorlesung: • Wissenschaftliche Methode, Beweise, Empirie • Rigorose Messung von Performance, Benchmarks • Fallstudien und Umfragen • Quantitative Messungen: Metriken, Software Repositories • Kontrollierte Experimente mit Entwicklern • Notwendige statistische Grundlagen — New results in computer science, notably in software engineering, aim at increasing the quality of a system, reducing the costs, improving performance and maintainability, or improving the understandability and usability of software systems. Yet, how can respective statements be evaluated, especially if user (Humans) are involved? This course introduces a collection of empirical methods and discusses their suitability for evaluating given problems. Examples are primarily taken from the software engineering domain.

	The content of the course includes: • Scientific method, proofs, empiricism • Rigorous measurement, benchmarking • Case studies and survey research • Quantitative methods: metrics, software repositories • Controlled experiments • Required statistical methods
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-Min.-Klausur 90-minute written examination
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Flipchart Blackboard, projector, flip chart
Literatur Reading list	Wohlin et al.: Experimentation in Software Engineering, Springer, 2012 Runeson et al.: Case Study Research in Software Engineering, Wiley, 2012 Shull et al. (Eds.): Guide to Advanced Empirical Software Engineering, Springer, 2008 Kitchenham et al.: Evidence-based Software Engineering and Systematic Reviews, CRC Press, 2016 Field et al.: Discovering Statistics with R, Sage Publications, 2012 Further complementing (scientific articles) literature will be named in the course.

5853	Programming Paradigms	PN 455435
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer, Tiwari	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II, Software Engineering Praktikum, Algebra und Logik Software Engineering, Programming I + II, Software Engineering Internship, Algebra and Logic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students learn the foundation of various programming paradigms. In particular, the concepts in the lecture include different ways or styles in which a given program or program-	

	ming language can be organized. Besides, students will go through recent research articles to understand the current advancements in the programming paradigms. The course enables students to make optimal use of a particular programming language and identify the most appropriate language for various development setups. Fähigkeiten / Abilities The participants comprehend the numerous applications and use cases for a programming language. They will grasp the consequences of selecting a language's execution model. Kompetenzen / Competencies Participants will obtain programming concepts shared among various programming languages, hence facilitating the acquisition of new language models. Students will review object-oriented programming principles and be introduced to functional programming. In addition, they will acquire practical programming experience in various programming languages.
Inhalt Course content	Programming paradigms categorize programming languages according to their characteristics. Programming paradigms, in particular, are distinct methods or styles in which a program or programming language can be structured. Multiple paradigms exist for classifying languages. Some paradigms are primarily concerned with consequences for the language's execution model, such as whether side effects are permitted or if the execution model dictates the order of operations. Other paradigms are primarily concerned with how code is arranged, such as arranging code into units with the state that the code modifies. This course aims to provide a solid foundation on various programming paradigms and teaches students how to make optimal use of a particular programming language and identify the most appropriate language for a specific development assignment. Following are the key highlights of the course: • Declarative paradigms • Imperative paradigms • Structured • Concurrent computing • Data-driven • Event-Driven • Nondeterministic programming • Current Research Articles
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teil-

	präsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Eckpunkte einer Portofolio-Prüfung (einige Teile fakultativ): • 3-4 Projektteile zur Implementierung (teilweise in Gruppenarbeit) • 3-4 Teilpräsentationen max. 15 min, u.a. zu aktuellen Forschungsartikeln • 1 Abschlusspräsentation max. 20 min • technische Berichte max. 20 Seiten Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentations, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5854	Secure Information Flow	PN 455384
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes 2. Sommersemester Every other summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“, Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „ProgSoft“, Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation and project work	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II, SEP, Algebra und Logik Software Engineering, Programming I + II, SEP, Algebra and Logic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erlernen Basiskonzepte der Informationsflusskontrolle und der Nichtinterferenz. Die Konzepte umfassen statische Methoden der Sourcecode-Analyse, dynamische	

	Methoden der Laufzeitanalyse, sowie manuelle Korrektheitsbeweise. Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer kennen die wichtigsten Methoden zum Analysieren des Informationsflusses in Softwaresystemen und sind in der Lage, Analysemethoden programmiertechnisch umzusetzen. Dazu benötigte grundlegende Algorithmen können sie erklären und mit alternativen Algorithmen vergleichen. Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erlernen theoretische und praktische Kompetenzen in der Konzeption, Umsetzung und Evaluierung von Informationsflussanalysen. Weiterhin sind die Studierenden befähigt, einzelne Analysen auch auf andere Problemstellungen und Analyseziele anzupassen.
Inhalt Course content	Typsysteme um Vertraulichkeit in imperativen Programmiersprachen zu garantieren Analyse von multi-threading Programmen Statische Programmanalyse (basierend auf Program Slicing) Declassification, Integrität Dynamische vs. statische Informationsflusskontrolle IFC für realistische Sprachen (OOP, dynamische Srachen) Quantitative IFC
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5855	Object-Oriented Programming with C++	PN 453002
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes 2. Sommersemester Every other summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung I + II, SEP, Software Engineering Programming I + II, SEP, Software Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen Basiskonzepte der objekt-orientierten Programmierung und weitere fortgeschrittene Konzepte der Programmiersprache C++ kennen. Die Konzepte umfassen z.B. (Mehrfach-)Vererbung, Ausnahmebehandlung, Templates, Operatorüberladung, Ein-/Ausgabe mit Streams, Lamb-	

	das, das Speichermodell und Multi-Threading. Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer kennen die wichtigsten Konzepte der objekt-orientierten Programmierung in C++ und sind in der Lage, diese Konzepte korrekt umzusetzen. Sie können die Umsetzung in Compilern erklären und die daraus folgenden Konsequenzen analysieren sowie die passenden Anwendungsgebiete identifizieren und Sicherheitsaspekte einschätzen. Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erlernen theoretische und praktische Kompetenzen in der Konzeption, Umsetzung und Evaluierung von maschinennaher objekt-orientierter Programmierung. Weiterhin sind die Studierenden befähigt, die erlernten Konzepte auch auf andere Programmiersprachen und Systeme anzupassen
Inhalt Course content	• Objekt-orientierte Programmierung • Vererbung, Mehrfachvererbung (auch virtuell) • Ausnahmebehandlung • Template Programmierung • Operatorüberladung • Manuelles und semi-automatisches Speichermanagement • Stream-basierte Ein-/Ausgabe • Lambdas • Mult-Threading • Speichermodell
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90min Klausur oder Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext in C++, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5856	Compiler Construction	PN 455402
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes 2. Sommersemester Every other summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 180 Std. Übungsaufgaben, Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 180 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden sind mit den Techniken der syntaktischen und semantischen Sprachbehandlung von Übersetzern und Interpretern sowie der Codegenerierung und -optimierung, insbesondere mit Hilfe von Programmanalyse vertraut. Fähigkeiten / Abilities	

	Die Studierenden sind in der Lage, prototypische sprachverarbeitende Systeme eigenständig zu erstellen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, Software Entwicklungsarbeiten mit der Erstellung kleinerer, domänenspezifischer Programmiersprachen zu unterstützen oder Anpassungen an größeren sprachverarbeitenden Systemen vorzunehmen.
Inhalt Course content	Behandlung der verschiedenen Phasen eines Übersetzers: Lexikalische, syntaktische und semantische Analyse eines Source Programms, Codegenerierung und –optimierung für abstrakte und reale Maschinen, Grundlagen der Programmanalyse.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Eckpunkte einer Portofolio-Prüfung (einige Teile fakultativ): • 3-4 Projektteile zur Implementierung (teilweise in Gruppenarbeit) • 3-4 Teilpräsentationen max 15 min • 1 Abschlusspräsentation max 20 min • technische Berichte max 20 Seiten Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Aho, Lam, Sethi, Ullman: Compilers - Principles, Techniques and Tools. Addison-Wesley.

5858	Engineering Dependable Software	PN 455424
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes 2. Sommersemester Every 2nd summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben, Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Programmierung I + II, Software Engineering Praktikum, Logik Software Engineering, Programming I + II, Software Engineering Internship, Logic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden sind mit Techniken zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von sequentieller und nebenläufiger Software vertraut.	

	Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, prototypische Spezifikationen für Softwarekomponenten eigenständig zu erstellen und diese manuell zu verifizieren oder (halb-)automatisch validieren oder verifizieren zu lassen. Dazu benötigte grundlegende Algorithmen können sie erklären und mit alternativen Techniken vergleichen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, Softwareentwicklungsarbeiten mit der Annotation von Typen oder Vor- und Nachbedingungen zu unterstützen und Modelle der Programmsemantik zur Sicherstellung von Programmeigenschaften zu erstellen. Dadurch sind sie in der Lage, Verbesserungen der Zuverlässigkeit auch an größeren Softwaresystemen vorzunehmen.
Inhalt Course content	Die Vorlesung behandelt wichtige Themenkomplexe zur Verbesserung der Zuverlässigkeit von Softwaresystemen, unter anderem sind in dieser Veranstaltung die Themen Semantik, Typisierung und Typinferenz, Model Checking, Programmbeweise, sowie Parallelität und Prozessalgebren relevant.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Eckpunkte einer Portofolio-Prüfung (einige Teile fakultativ): • 3-4 Projektteile zur Implementierung (teilweise in Gruppenarbeit) • 3-4 Teilpräsentationen max. 15 min • 1 Abschlusspräsentation max. 20 min • technische Berichte max. 20 Seiten Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. 90-minute exam or portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentations, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5859	Software Engineering Research Reproduction	PN 455425
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer, Tiwari	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	6Ü Es besteht Anwesenheitspflicht. Die Anwesenheitspflicht besteht aus folgenden Gründen: Um den Erfolg der Veranstaltung zu gewährleisten, ist eine verstärkte Interaktion der Studierenden untereinander aber auch zwischen Studierenden und Betreuern notwendig. Bei der Interaktion mit den Betreuern oder den Kommilitonen, können die Studierenden Probleme besprechen und Lösungsstrategien erarbeiten. Ein weiterer Grund sind die regelmäßig stattfindenden Präsentationen der Studierenden. Jeder Studierende arbeitet sich frühzeitig verstärkt in ein Gebiet der Veranstaltung ein. In der Präsentation vermittelt der/die Studierende sein Spezialwissen an die anderen Teilnehmer. Damit sichergestellt wird, dass die Studierenden dieses Spezialwissen vermittelt bekommen, müssen sie zu den Präsentationen anwesend sein. Der letzte Grund ist die Überprüfung der praktischen Kompetenz der Studierenden. Sie werden während der Anwesenheitszeit befragt, um ihren Lernerfolg zu beobachten. Attendance is compulsory. This is for the following reasons: First, to ensure the success of the practicum, it is necessary to enhance the interaction among students and between students and tutors. When interacting with the tutors or fellow students, the students can discuss problems and develop solution strategies. Second, there are the regularly scheduled presentations of the students. Each student is assigned a topic area for the practicum which he or she treats in greater detail than the others. In the presentation the student shares their detailed knowledge with the other students. To ensure the ma-	

	ximum benefit for all students, it should be ensured that all of them are present at the presentation. Third, one of the objectives of the practicum is to test the students' practical skills. The students will be interviewed during their attendance to observe their learning success.
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. betreute Laborarbeit + 110 Std. nicht betreute Laborarbeit + 160 Nachbearbeitung 90 hours supervised laboratory work + 110 hours unsupervised lab work + 160 hours follow-up
ECTS Credits	12
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering Praktikum, Programmierung I + II, Software Engineering Software Engineering Internship, Programming I + II, Software Engineering
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students will understand the fundamentals and significance of reproducing research in this lab. This can be beneficial for future studies and a potential academic career. Students will learn how to conduct research reproduction, meticulously document the data, compose a final report, and present their findings. Fähigkeiten / Abilities The participants will comprehend the importance of research artifacts. The replication process will enable students to systematically grasp the research process and perform research that is reproducible, useful, and accessible to a wide audience.
Inhalt Course content	The lab will follow the ACM/IEEE classification for the availability and replicability of the research artifacts presented at premier software/programming language conferences, such as ICSE, ESEC/FSE, ASE, ISSTA, PLDI, OOPSLA, POPL, and TACAS. Recent years have seen a positive trend toward open science policy where all premier venues require researchers to

	submit research artifacts for evaluation. The key idea is that all study results should be available to the public, and empirical investigations should be replicable. In this lab, students replicate a specific collection of previously published papers. The key task is to read the article, verify if artifacts are still accessible, comprehend the fundamentals and rationale of the relevant paper, replicate the study's results, and then assess the artifact's extensibility. The lab consists of three phases: • Reading Groups: Students acquire the information and skills necessary to evaluate research artifacts via the reading and discussion of pertinent articles on research artifacts. • Students will be assigned a set of publications and artifacts individually. • Report and final presentation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung. Mögliche Portfoliobestandteile sind technische Berichte, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext für Softwareanalysen, Live-Systemdemonstration, Teilpräsentationen zu Einzelleistungen, laufende, fortzuschreibende technische Teilberichte zur Zusammenfassung zu einem Gesamtdokument, Abschlusspräsentation. Eckpunkte einer Portofolio-Prüfung (einige Teile fakultativ): • 3-4 Projektteile zur Implementierung • 3-4 Teilpräsentationen max. 15 min • 1 Abschlusspräsentation max. 20 min • technische Berichte max. 20 Seiten Die genauen Anforderungen werden vom Dozierenden zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Portfolio-exam. The exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentations, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

5871	Commutative Algebra	PN 455387
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kreuzer	
Dozent(in) Lecturer	Kreuzer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algebra und Zahlentheorie I Algebra and Number Theory I	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen grundlegende Klassen kommutativer Ringe und ihre Eigenschaften kennen. Sie sind mit den Beziehungen diverser ringtheoretischer Eigenschaften untereinander sowie mit zentralen Strukturätzen der kommutativen Algebra vertraut.	

	— Students get to know basic classes of commutative rings and their properties. They are familiar with the relations of various ring theoretic properties to each other and with central structure theorems in Commutative Algebra. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben wichtige Beweistechniken aus der kommutativen Algebra und sind in der Lage, diese zielsicher und korrekt einzusetzen. Sie sind fähig, kommutative Ringe gemäß ihren Eigenschaften zu analysieren und zu klassifizieren. — Students practice important proof techniques in Commutative Algebra and are able to apply them in a purposeful and correct manner. They succeed in analysing and classfiying commutative rings according to their structural properties. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden lernen sich in komplexen abstrakten Problemsituationen zurecht zu finden. Sie finden Lösungswege und können ihre Erkenntnisse mit exakten Beweisen untermauern. — The students learn to manage complex abstract problem settings. They find solutions and are capable of substantiating their insights with exact proofs.
Inhalt Course content	Das Modul führt in wichtige Teile der Theorie der kommutativen Ringe ein. Nach dem ersten Studium grundlegender Typen solcher Ringe werden das Primspektrum, die Zariski-Topologie, die Primärzerlegung und die klassische Dimensionstheorie betrachtet. Ferner werden die Technik der Lokalisierung und wichtige Klassen lokaler Ringe (wie reguläre lokale Ringe, lokale vollständige Durchschnitte und Cohen-Macaulay Ringe) untersucht. — The module introduces important parts of the theory of commutative rings. After an initial study of basic types of such rings, the prime spectrum, the Zariski topology, primary decomposition and classical dimension theory become the focus of attention. Furthermore, the technique of localisation and important classes of local rings (such as regular local rings, local complete intersections, and Cohen-Macaulay rings) are examined.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60 Minuten Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung in englischer Sprache und je nach Anzahl der Hörer; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des jeweiligen Semesters bekannt

	gegeben. Written exam (60 minutes) or oral exam (about 20 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Nach Ansage in der Vorlesung Announced in the lecture course

5873	Operatortheorie Operator Theory	PN 401403
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Alle vier Semester Every four semesters	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Forster-Heinlein	
Dozent(in) Lecturer	Forster-Heinlein	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz, 90 + 90 Std. Eigenarbeitszeit 60 + 30 contact hours, 90 + 90 hours self study	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II Linear Algebra I + II, Analysis I + II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Lehramt Mathematik Gymnasium Master Computational Mathematics, Teacher training programme for secondary education in Mathematics (Gymnasium)	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Techniken, um Operatoren in Banach- und Hilbert-Räumen zu analysieren. Fähigkeiten / Abilities	

	Die Studierenden sind in der Lage, die Methoden der Operatortheorie bei konkreten Fragestellungen zu aktuellen Themen der Mathematik und der Naturwissenschaften anzuwenden.
Inhalt Course content	Inhalt in Stichpunkten: Focus „Algorithmics and Mathematical Modeling“ Banach- und Hilbert-Räume, Dualität Basen in Banach und Hilbert-Räumen Hauptsätze für Operatoren auf Banach-Räumen: Sätze von Hahn-Banach, Satz über die offene Abbildung, Satz von abgeschlossenen Graphen Spektraltheorie kompakter Operatoren Spektraltheorie selbstadjungierter Operatoren
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (90 minutes) or oral exam (about 20 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Übungsblätter Blackboard, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	W. Rudin, Functional Analysis, McGraw Hill, 1991. M. Reed/B. Simon, Functional Analysis, Academic Press, 1972. D. Werner: Funktionalanalysis, Springer, 2007. F. Hirzebruch, W. Scharlau: Einführung in die Funktionalanalysis, BI-Hochschulbücher, 1991

5874	IT-Sicherheitsrecht IT Security Law	PN 222431
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semesters	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Schröder, Lewinski (Juristische Fakultät / Faculty of Law)	
Dozent(in) Lecturer	Hartl (Juristische Fakultät / Faculty of Law)	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V	
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 30 contact hours + 120 hours self study	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben Kenntnisse der Rechtsgrundlagen des IT-Sicherheitsrechts (verfassungsrechtliche Grundlagen und öffentlich sowie zivilrechtliche Bezüge einschließlich des Datenschutzrechts und weiterer spezialgesetzlicher Regelungen) sowie des Themenkomplexes IT-Sicherheitsrecht ins-	

	gesamt aus politischer, wirtschaftlicher und technischer Perspektive; dies schließt die Kenntnis der wichtigsten höchstrichterlichen Rechtsprechung mit ein. Zudem erlangen die Studierenden Kenntnis von Fallkonstellationen, in denen technische Systeme und ihr Einsatz in der Praxis typischerweise IT-sicherheitsrechtliche Fragen aufwerfen. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden beherrschen die Erfassung juristischer Probleme technischer Sachverhalte auf Basis der relevanten rechtlichen Grundlagen im IT-Sicherheitsrecht. Die Studierenden beherrschen die Erarbeitung von Lösungsvorschlägen für die jeweiligen rechtlichen Probleme im Themenbereich IT-Sicherheit. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz zur Anwendung spezifisch juristischer Methoden der Fallbearbeitung und -lösung sowie Transferkompetenz zur Anwendung des erworbenen Wissens und der erworbenen Fähigkeiten auf die typischerweise sehr schnell auftretenden neuen Probleme des IT-Sicherheitsrechts. Sie beherrschen die Interaktion zwischen technisch und juristisch ausgebildeten Personen im beruflichen Umfeld (gegenseitige Wissensvermittlung, gemeinsame Problemlösungsstrategien).
Inhalt Course content	Zunächst erfolgt eine grundlegende Einführung in die Thematik des IT-Sicherheitsrechts. Dabei werden Grundfragen an den Schnittstellen von Technik und Recht sowie rechtliche Grundprinzipien vorgestellt und ergänzend die relevanten Normen und die Arbeit mit zentralen rechtlichen Konzepten (allgemeine Grundlagen des Zivilrechts und öffentlichen Rechts wie Haftung, Anspruchsgrundlagen, Verschulden und Verschuldenstypen, auslegungsbedürftige Tatbestandmerkmale, Ermessen oder Formen des Verwaltungshandeln) eingeführt. Es folgen themenspezifische Blöcke immer unter Rückgriff auf eingeführten Grundlagen. Dabei werden – unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen und Schwerpunkte – Grundrechte und staatliches Eingriffshandeln sowie Schutzpflichten, Grundlagen des Datenschutzrechts, des technischen Datenschutzes, IT-Sicherheit im arbeitsrechtlichen Kontext, Haftungs- und Produkthaftungsfragen (einschließlich Vertragsgrundlagen und Providerhaftung), strafrechtliche Flankierung sowie Frage nach der rechtskonformen Modellierung der Organisation der IT-Sicherheit im Unternehmen behandelt. Schließlich sind öffentlich-rechtliche Regularien und Vorgaben an den Schutz (kritischer) technischer Infrastruktur Teil der Veranstaltung.

	Schwerpunkt der Veranstaltung sind insgesamt, vor dem Hintergrund der genannten Themen, die mehrdimensionalen rechtlichen Anforderungen an Akteure unter dem Aspekt der IT-Sicherheit, dabei vor allem die Vermeidung rechtlicher Risiken und der Umfang rechtlicher Verantwortung auf privater Ebene sowie Auftreten und (mögliche) Regulieransätze der öffentlichen Hand.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung, je nach Anzahl der Hörer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (90 minutes) or oral exam (about 20 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation and projector
Literatur Reading list	Köhler/Fetzer - Recht des Internet (Start ins Rechtsgebiet), 2016 Voigt, IT-Sicherheitsrecht, 2018 Kühling/Klar, Datenschutzrecht (Start ins Rechtsgebiet), 2018 Hornung/Schallbruch (Hrsg.), IT-Sicherheitsrecht, 2020 Weitere Hinweise in der Vorlesung

5880	Dependable Distributed Systems	PN 455403
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Reiser	
Dozent(in) Lecturer	Reiser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	IT-Sicherheit Advanced IT Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studenten erwerben die Kenntnis von Metriken für Zuverlässigkeit, Grundlegende Modelle für verteilte Systeme, Verfahren zur Ausfallerkennung in verteilten Systemen, Redundanztechniken, Algorithmen für zuverlässige Gruppenkommunikation, Einbruchstolerante Systeme sowie Koordinierungs-	

	verfahren in verteilten Systemen und zuverlässige Datenspeicherung. — The students acquire the knowledge of metrics for reliability, basic models for distributed systems, methods for failure detection in distributed systems, redundancy techniques, algorithms for reliable group communication, intrusion-tolerant systems, and coordination processes in distributed systems and reliable data storage. Fähigkeiten / Abilities Die Studenten verstehen komplexe Algorithmen für verteilte Systeme. Sie können algorithmische Lösungen und Architekturen bezüglich Komplexität und Zuverlässigkeit beurteilen und sie können geeignete Lösungen für verschiedene praxisbezogene Anwendungsfelder auswählen. — The students understand complex algorithms for distributed systems. They can judge algorithmic solutions and architectures with respect to complexity and reliability and they can choose appropriate solutions for different practical application fields. Kompetenzen / Competencies Die Studenten beherrschen das Anwenden von theoretisch fundierten Algorithmen in praxisbezogenen Lösungen sowie das Abwägen von Entwurfsalternativen bei der Planung von zuverlässigen verteilten Systemen. — The students master the application of theory-based algorithms into practical solutions, and the arbitration of design alternatives in the design of reliable distributed systems.
Inhalt Course content	Das Modul beinhaltet die Themen Grundlegende Metriken (Ausfallwahrscheinlichkeit, MTBF, MTTB, Verfügbarkeit); Modelle für Zeit, Kommunikation und räumliche Verteilung; Theoretische Modelle für Ausfallerkennung; Gruppenkommunikation: Problemstellung, Semantiken, Algorithmen; Konzept der aktiven und passiven Replikation, jeweilige Vor- und Nachteile; Byzantinische Fehlertoleranz (BFT) und deren Anwendung bei einbruchstoleranten Systemen; Uhrensynchronisation, verteilten Koordinierung (Wahl- und Sperralgorithmen); Synchronisationsdienste (Chubby, ZooKeeper) und zuverlässige Datenspeicherung in großen Systemen (Redundanz, Backup-Strategien, RAID-Systeme). — The module includes the topics of Basic metrics (probability of failure, MTBF, MTTB, availability); models for time,

	communication and spatial distribution; theoretical models for failure detection, group communication: issues, semantics, algorithms, concept of active and passive replication, their respective advantages and disadvantages; Byzantine fault tolerance (BFT) and their application to intrusion-tolerant systems, clock synchronization, distributed coordination (choice and barrier algorithms); synchronization Services (Chubby, ZooKeeper) and reliable data storage in large systems (redundancy, backup strategies, RAID systems).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60 Minuten Klausur oder 20 Minuten mündliche Prüfung jeweils in deutscher oder englischer Sprache und je nach Anzahl der Hörer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 60-minute exam or 20-minute oral examination, depending on the number of listeners, in German or English. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Projector, presentation and blackboard
Literatur Reading list	C.Cachine, R. Guerraoui, L, Rodrigues, Introduction to Reliable and Secure Distributed Programming, Springer, 2011 Israel Koren, C. Mani Krishna, Fault-Tolerant Systems, Morgan Kaufmann, 2007. P. Veríssimo and L. Rodrigues, Distributed Systems for System Architects, Kluwer Academic Publishers, 2001, Parts I and II. Wissenschaftliche Artikel nach Ansage in der Vorlesung / Scientific Articles to be announced in the lecture

5881	Privacy Enhancing Techniques	PN 405223
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semesters	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga	
Dozent(in) Lecturer	Cuellar	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V	
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 60 Std. Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs, Vorbereitung eines Referats und Prüfungsvorbereitung 30 contact hours + 60 hours Follow-up, preparing a presentation, and exam preparation	
ECTS Credits	3	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	IT-Sicherheit, Security Insider Lab I oder II, System Security Advanced IT Security, Security Insider Lab I or II, System Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen wichtigsten technische Konzepte und Schlüsselfragen zum besseren Schutz der Privatsphäre und Technologien (PETs), und deren Wechselwirkung in Kombination mit konventionellen Sicherheitstechnologien, wie Ver-	

schlüsselung und Zugangskontrolle. Sie lernen wie weitverbreitete und neu entstehende Technologien Organisationen ermöglichen, verschiedene Arten von personenbezogenen Daten zu sammeln, verknüpfen und verarbeiten. Sie werden die aktuelle Konzepte der datenschutzfreundliche Technologien (Privacy-Enhancing Technologies, PET) und die Standardmethoden von Privacy-by-Design kennenlernen, inklusive die neuere Entwicklungen, wie Privacy Enhancing Architekturen und LINDDUN.

—

Students learn key technical concepts related to privacy, both regarding the associated issues in current and emerging technologies, and the possibilities of protecting the privacy in those applications. Students learn generic principles, methods, and tools of privacyby-design (PbD) and of privacy enhancing technologies (PETs), including data anonymization and perturbation techniques. They also learn which methods are adequate for particular situations, for data release, for big data applications (in clouds, for instance), and for applications based on sensors and actuators in constrained environments. On the other hand students will learn the basic limitations of PETs.

Fähigkeiten / Abilities

Die Studierenden entwickeln Fertigkeiten in der frühzeitige Erkennung, Identifizierung und Bewertung von Datenschutzgefahren und Risiken in existierenden oder geplanten Anwendungen. Darüber hinaus sind sie in der Lage, diese Risiken professionell zu begegnen indem sie Modifikationen in der Funktionalität der Anwendung vorschlagen, oder adäquaten datenschutzfreundlichen Lösungen auswählen oder entwickeln, implementieren und instanziieren.

—

Students will develop skills in the early detection, identification, and evaluation of privacy threats and risks in existing or planned applications. In addition, they will be able to manage and respond to the risks, either suggesting modifications in the functionality of the application, or selecting or developing adequate privacy-friendly solutions, and implementing and instantiating them.

Kompetenzen / Competencies

Die Studierenden sind in der Lage, bewährte Methoden und Technologien einzusetzen, wie z.B. Privacy-by-Design, LINDDUN, an Hand der Anforderungen selbstständig einzusetzen und Lösungen zu konzipieren. Der Student kann die Wechselwirkung erklären zwischen Schutz der Privatsphäre, Sicherheit

	und Funktionalität und ist in der Lage in konkreten Situationen, Kompromisse zwischen diese Ziele zu finden. Dabei kann er die Stärken und Schwächen der verschiedenen PETs vergleichen. Der Student kann die aktuelle Forschungs-Literatur in diesem Bereich zu lesen und diskutieren. — Students will know how to apply best practices and established technologies, such as Privacy by Design, LINDDUN. The students can explain the tradeoffs between privacy protection, security and functionality and to find compromises between these competing goals. They can compare the strengths and weaknesses of different PETs. The students can read and discuss the current research literature in this area.
Inhalt Course content	In dem Modul werden folgende Inhalte behandelt: Die Vorlesung stellt datenschutzfreundliche Technologien (Privacy-Enhancing Technologies, PET) systematisch dar, sowohl im Allgemeinen als auch und insbesondere in dem Kontextext von Datenbanken, Big Data (z.B., in Clouds), und in "constrained Environments", in denen Geräte mit begrenzten Ressourcen eine entscheidende Rolle spielen, als Sensoren und Aktoren. Wir werden die Bedrohungen der Privatsphäre in den verschiedenen TCP/IP- und Anwendungs- Schichten präsentieren und diskutieren sowie die Anforderungen, Konzepte, Methoden und Verfahren, um den Schutz der Privatsphäre zu gewährleisten. Wir werden auch die Probleme und Beschränkungen der Privatsphäre-Frameworks und von technologischen Lösungen, um Daten oder Ereignissen anonymisieren zu diskutieren. In dem besonderen Kontext begrenzte Umgebungen, werden wir rechnerisch leichten Methoden zu diskutieren, um besseren Schutz der Privatsphäre Anmeldeinformationen, Autorisierung, Integrität und Vertraulichkeit. — The course covers the following topics: - Attacks against privacy, including traffic analysis, deanonymization, and side-channel attacks - Systematic privacy risk assessment (for instance, using LINDDUN) - Privacy issues and privacy enhancing technologies in particular environments, like clouds or mobile devices, and for particular applications, including location-based services - Special PETs, including Trusted-computing-based PETs, privacy preserving data mining and data release - Differential privacy - Privacy-preserving software systems and applications

	- Relation between cryptography and privacy - Anonymous credentials - Anonymous routing and anonymity systems - Lightweight privacy-enhancing technologies for constrained environments, to provide user consent.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Teilprüfungsleistungen: • Referat: ca. 30-min. Referat mit Präsentation über selbsterarbeitetes Thema. Die Studierenden können am Semesterbeginn aus einer Auswahl von Themen wählen. • schriftliche/mündliche Prüfung: 60-min. schriftliche Prüfung oder ca. 20-min. mündliche Prüfung. Die Prüfungsart wird am Semesterbeginn durch den/die Dozent(in) festgelegt und bekanntgegeben. Eine Anmeldung zum Referat impliziert automatisch eine Anmeldung zu einem der angebotenen Termine zur schriftlichen/mündlichen Prüfung im Anschluss an den gleichen Vorlesungszeitraum. Um dieses Modul zu bestehen müssen beide Teilprüfungsleistungen bestanden werden. Dabei wird die schriftliche/mündliche Prüfung mit 80% gewichtet, das Referat mit 20%. This module is assessed in partial examinations: • Oral presentation: approx 20 min. Students in small groups will present selected topics chosen during the semester. • 60-minute written or 20-minute oral examination. The specific mode of assessment will be announced by the lecturer at the start of the semester. Registration for the presentation automatically implies a registration for any of the dates offered for written/oral examination following the same course of lectures. In order to pass this module, students must pass both partial examinations. The exam will count 80% of the grade, the oral presentation 20%.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Projector, presentation and blackboard
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekanntgegeben To be announced in the lecture

5882	Resilient Internet-of-Things Infrastructures	PN 455389
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Reiser	
Dozent(in) Lecturer	Reiser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungsaufgaben/Referate, Vor- und Nachbereitung 60 contact hours + 120 hours exercises/presentations, independent study	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben Kenntnisse über die Architektur von Infrastrukturen des Internets der Dinge (Internet of Things, IoT), über verschiedene in diesem Kontext relevante Kommunikationsprotokolle sowie über IoT-Anwendungsplattformen. Sie erhalten einen Überblick über	

	aktuelle Forschungsarbeiten, die sich mit der Zuverlässigkeit, Sicherheit und Resilienz im IoT beschäftigen. — Students acquire knowledge about the architecture of Internet-of-Things (IoT) infrastructures, about various communication protocols relevant in that context, as well as about IoT application platforms. They learn about recent research in the area of reliability, security, and resilience of IoT. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden entwickeln Fertigkeiten in der Analyse und im Entwurf von IoT-Systemen. Sie können geeignete Protokolle, Plattformen und Werkzeuge auswählen und diese nutzen, um IoT-Systeme entsprechend eines Anforderungskatalogs sicher und zuverlässig in die Praxis umzusetzen. — Students will develop skills in analysing and designing IoT systems. They are able to select adequate protocols, platforms, and tools and use them to develop IoT systems in a secure and reliable way according to a requirement specification. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erlernen soziale Kompetenz durch Arbeit im Team in Übungsaufgaben und organisatorische sowie fachliche Kompetenzen bei der Entwicklung resilienter IoT-Systemen. — Students acquire social competence by team work in lab exercises as well as organisational and technical competencies in the development of resilient IoT systems.
Inhalt Course content	Grundlagen zu IoT-Architekturen IoT-Hardware IoT-Kommunikationstechnologien IoT-Vernetzungsinfrastrukturen IoT-Entwicklungsumgebungen Aktuelle IoT-bezogene Forschungsarbeiten zu den Themen Zuverlässigkeit, Sicherheit und Resilienz — Foundations of IoT architectures IoT hardware IoT communication technologies IoT networking infrastructures IoT development environments Recent IoT-related research on the topics reliability, security, and resilience
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio (techn. Bericht, Präsentation) Mögliche Portfoliobestandteile sind

	• Eigenständige Zusammenfassung/Präsentation von relevanten wiss. Arbeiten zu den Themen der Lehrveranstaltung • Abschlusspräsentation der Ergebnisse eines praktischen Übungsprojekts • Abschlussbericht zu einem praktischen Übungsprojekt Die Bearbeitung der Portfolio-Leistungen erfolgt begleitend zur Lehrveranstaltung. Die genauen Anforderungen werden vom Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekannt gegeben. Portfolio (technical report, presentation) Possible parts of the portfolio are • Autonomous summary / presentation of relevant scientific work on the topics of the course • Final presentation of results of a practical exercise project • Final report on a practical exercise project The elaboration of portfolio examination work takes place during the course of the lecture. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Tafelanschrieb, Online-Meetings (Zoom), Gruppenarbeit Projector presentation, blackboard, online meeting (Zoom), group work
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekanntgegeben To be announced in the lecture

5885	Hypervisor Design and Implementation	PN 451015
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Reiser	
Dozent(in) Lecturer	Reiser	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Bearbeitung und Abgabe der Übungsaufgaben + 60 Std. Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Vorbereitung Abschlusspräsentation 60 contact hours + 60 hours preparation and submission of exercises + 60 hours lecture follow up and preparation of final presentation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Erfahrung mit Linux, einschließlich Verwendung der Kommandozeile. Bereitschaft, sich selbständig in systemnahe Programmierung in C/C++/Assembler einzuarbeiten Experience in Linux, including using the command line. Willingness to autonomously acquire system-level programming skills in C/C++/assembly	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	

Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen verschiedene Arten von Virtualisierung und Konzepte für den Entwurf eines Hypervisors kennen und erwerben vertiefte Kenntnisse über Systeminterna. — Students learn about different types of virtualization and concepts for the development of a hypervisor and acquire in-depth knowledge of system internals. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden beherrschen die Konzepte von Virtualisierung, können diese bewerten und erwerben die Fähigkeit, diese in systemnaher Software umzusetzen und im Kontext von IT-Sicherheit zu nutzen. — Students master the concepts of virtualization, are able to evaluate them, and acquire the ability to implement them in system software and use them for IT security purposes. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz, Systeme aus Perspektive eines Hypervisors zu betrachten und auch zukünftige Entwicklungen im Bereich Systemvirtualisierung zu beurteilen. — Students will have the competence to judge systems from the perspective of a hypervisor and assess future developments in the are of system virtualization.
Inhalt Course content	In der Vorlesung werden verschiedene Ansätze der Systemvirtualisierung, darunter Emulation, Paravirtualisierung, Betriebssystemvirtualisierung und Hardwarevirtualisierung sowie der Nutzen von Virtualisierung im Bereich IT-Sicherheit (Monitoring, Management, digitale Forensik, Analyse von Angriffen) betrachtet. In begleitenden Übungen werden die Konzepte durch schrittweise Implementierung eines eigenen Hypervisors in Programmieraufgaben vertieft. — The lectures focuses on various aspects of system virtualization, including emulation, paravirtualization, operating system virtualization and hardware virtualization, and the application of virtualization in the area of IT security (monitoring, management, digital forensics, attack analysis). The accompanying exercises strengthen the knowledge of concepts based on a step-by-step development of an own hypervisor in programming exercises.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Abschlusspräsentation der im Rahmen der Übung erstellten Software und der verwendeten Konzepte mit anschließenden

	mündlichen Prüfungsfragen. Gesamtdauer maximal 45 Minuten. Final presentation of the software developed in context of the exercises and the applied concepts, followed by oral exam questions. Total duration up to 45 minutes.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer und Tafel, Rechnerübungen im Labor Projector presentation and blackboard, practical lab exercises
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekanntgegeben To be announced in the lecture

5891	Software-Projektmanagement	PN 405016
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Palm	
Dozent(in) Lecturer	Palm	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 60 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen sämtliche Schritte und Tätigkeiten um ein Softwareprojekt als Projektleiter erfolgreich durchzuführen. Fähigkeiten / Abilities Sie können die wichtigsten Schritte der Projektplanung für ein	

	gegebenes Softwareprojekt anwenden: Phasenplanung, Projektstrukturierung, Termin-, Ablauf- und Einsatzmittelplanung. Im Projektcontrolling beherrschen sie Techniken, um den aktuellen Projektfortschritt zu ermitteln, und können ggf. geeignete Maßnahmen anwenden. Dies sollte sowohl im Kontext klassischer Vorgehensmodelle als auch im agile Umfeld erfolgen. Kompetenzen / Competencies Sie sind in der Lage sämtliche Maßnahmen zu verstehen und zu bewerten, die im Rahmen des Projektmanagements bei der Planung und Durchführung von Softwareprojekten anfallen.
Inhalt Course content	Die Vorlesung vermittelt sämtliche Prozesse, die für das Projektmanagement von Softwareprojekten erforderlich sind. Dabei wird weitgehend eine chronologische Vorgehensweise eingehalten. Zuerst werden – neben der Abgrenzung von wichtigen Begriffen wie Projekt, Projektarten, Projektmanagement – die Aktivitäten zu Beginn eines Projektes behandelt. Diese umfassen die Festlegung der Projektziele, die Erstellung und Bewertung von Lasten- und Pflichtenheft sowie die Analyse des Projektumfelds, der Stakeholder und der Projektrisiken. Im zweiten Abschnitt werden die grundlegenden Schritte der Projektplanung betrachtet. Hier wird das gewählte Vorgehensmodell der Softwareentwicklung auf das Projektvorgehen abgebildet. Die Projektplanung umfasst im Wesentlichen die Phasenplanung mit der Meilensteinliste, die Projektstrukturierung in einem Projektstrukturplan, die Termin- und Ablaufplanung mittels Netzplantechniken, und die Einsatzmittelplanung. Weiterhin werden Schätzmethoden für die Softwareentwicklung vorgestellt und die Formulierung von Arbeitspaketen betrachtet. Dabei werden neben dem klassischen, eher planungsorientiertem Projektmanagement auch agile Methoden betrachtet. Nach der Planung beschäftig sich der nächste Abschnitt mit dem Projektcontrolling. Dies beinhaltet die Kostenkontrolle, die Bestimmung des Projektfortschritts und die verschiedenen Methoden der Projektsteuerung. Im Verlauf eines Projekts sind zusätzlich noch weiter Tätigkeiten erforderlich um den Projekterfolg sicherzustellen. Dazu gehören, das Qualitätsmanagement, das Risikomanagement, das Konfigurations- und Änderungsmanagement, das Berichtswesen sowie das Vertrags- und Claimmanagement. Für das Projektende werden der Projektabschluss und das Projektlernen betrachtet. Schließlich behandelt die Vorlesung auch einige SSoftskills"wie etwa Kreativitätstechniken, Kommunikationstechniken, Teambildung und Führungsstile, Moti-

	vationstechniken, Umgang mit Konflikten und Krisen.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120 min Klausur oder ca. 30 min mündl. Prüfung; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120-minute exam or 30-minute oral examination, depending on the number of listeners, in German or English. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer, Softwaretools, Tafel Projector, software tools, blackbord
Literatur Reading list	Caupin, Gilles et al., ICB - IPMA Competence Baseline, Version 3.0, International Project Management Association (IPMA). Gessler, Michael (Hrsg.), Kompetenzbasiertes Projektmanagement, Gesellschaft für Projektmanagement (GPM). Bernd Oesterreich et al., APM – Agiles Projektmanagement, dpunkt verlag Schwaber, Ken, Agile Project Management with Scrum, Microsoft Press. Walker Royce, Software Project Management, Addison Wesley

5908 Wavelet-basierte Methoden in der Bildverarbeitung PN 405222 Wavelet-Based Methods in Image Processing	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Forster-Heinlein
Dozent(in) Lecturer	Nagler
Sprache Language of instruction	Deutsch German
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	30+30 Std. Präsenz, 60+60 Std. Eigenarbeitszeit (Vor- und Nachbearbeitung sowie Übungsaufgaben) 60 contact hours + 120 hours exercises, lecture follow-up and exam preparation
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Bildverarbeitung Image Analysis
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik Bachelor Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen nach dieser Vorlesung die Konzepte der Multiskalenanalyse mit Wavelets. Sie verstehen die diskrete Wavelet-Transformation in 1D und 2D und deren Anwendung auf Bilder. Insbesondere kennen und verstehen sie Ver-

	fahren zur Kompression und zum Entrauschen von Bildern. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Wavelet-basierte Verfahren implementieren, modifizieren und in gewissem Rahmen auch neu entwickeln. Insbesondere können sie Wavelet-basierte Verfahren zur Kompression und zum Entrauschen von Bildern einsetzen und mit anderen Verfahren vergleichen und bewerten. Die Studierenden haben die Kompetenz, mit Wavelet-basierten Verfahren theoretisch und praktisch umzugehen.
Inhalt Course content	Mathematische Grundlagen: Fourier-Transformation in L^1 und L^2 , Multiskalenanalyse mit Wavelets in L^2 , Diskrete Wavelet-Transformation, Kompressionsverfahren (JPEG, JPEG2000) und Entrauschen von Bildern (Wiener Filter, Wavelet Shrinkage)
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 60-minute written examination or 20-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Projector presentation, blackboard
Literatur Reading list	S. Mallat: A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic Press, 3^{rd} Edition, 2009 T. F. Chan, J. Shen: Image Processing and Analysis. SIAM, 2005 K. S. Thygarajan: Still Image and Video Compression with Matlab, Wiley-IEEE Press, 2010

5942	Network Science	PN 482601
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Granitzer	
Dozent(in) Lecturer	Granitzer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 105 Std. Übungsaufgaben/Referate, Vorarbeit und Nacharbeit 45 contact hours + 105 hours exercises, preparation and follow-up	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Data Science	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students gain insights into Modeling and analysing complex real-world networks with a special emphasis on social networks. In particular knowledge on the following topics will be gained: • Basic Graph Theory (Undirected/Directed/Bipartite	

	Graphs, Connectivity, Graph Traversal) • Properties of Social Networks (Strong and Weak ties, Structural Balance, Context in Social Netzworks, Small World Networks) • Properties of Information Networks (Structure of the Web, Decentralized Search, Navigability oft he Networks) • Network Dynamics and Evolution Fähigkeiten / Abilities The students will be able to analyse complex real-world networks and draw conclusions on their structural properties and dynamics. They will be able to develop and apply different algorithms for analysing networks, like for example clustering algorithms for detecting sub-structures and traversal algorithms for estimating statistical properties (e.g. centrality, clustering coefficient). Furthermore, students will be able to interpret the outcome of the algorithms in terms of underlying social theories, like for example Triadic Closure or Structural Balance Theory. Kompetenzen / Competencies Students aquire the competencies to analyse network data especially in web-based information systems and use this analysis to understand and refine those information systems.
Inhalt Course content	In particular, the following topics are covered: • Basic Network Theory (Graph Types, Connectivity, Graph Traversal) • Networks (Small World Phenomenon, Strong and Weak Ties, Information Flow, Community Detection) • Analysing the context of social networks (Homophily and Segregation) • Positive and Negative Relationships in Networks • Information Networks (Structure oft he Web, Link Analysis and Web Search) • Network Dynamics (Population Models, Information Cascades, Rich-get-richer, Cascading Behavior in Networks, Network Epidemics)
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or 20-minute oral examination. The mode of assessment will be announced at the start of the semester.

Medienformen Media used	Beamer, Tafel Blackboard, projector
Literatur Reading list	Networks, Crowds, and Markets: Reasoning About a Highly Connected World von David Easley und Jon Kleinberg von Cambridge University Press Barabási, Albert-László. Network science. Cambridge University Press, 2016. Mark Newman, Networks: An Introduction. Oxford University Press, 2010

5945	Advanced Topics in Data Science	PN 482603
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Granitzer	
Dozent(in) Lecturer	Granitzer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std Präsenz + 105 Std. Übungsaufgaben/Referate, Vor- und Nachbereitung 45 contact hours + 105 hrs exercises, preparation and follow-up	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Data Science	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students will engage advanced topics and recent developments in the field of data science. Special emphasize will be placed on natural computing techniques, like genetic algorithms and deep neural networks, as well as on reinforcement learning. The students will obtain in-depth knowledge on the	

	particular algorithms and application areas (with focus web-based information systems). Fähigkeiten / Abilities The students will be able to implement data analytical algorithms, in particular deep neural network and reinforcement learning approaches. They will be able to run advanced experiments on large data sets. Kompetenzen / Competencies The students will obtain the competencies to utilize recent data analytical methods, like deep learning, for analysing large data sets from web-based information systems (e.g. social media). Students will be enabled to setup experiments, conduct and evaluate them properly.
Inhalt Course content	The following topics will be covered: • Natural Computing • Deep Neural Networks • Representational Learning with Deep Networks including Autoencoder Networks (Denoising, Variational, Sparse), Hopfield Networks, Boltzmann Machines • (Deep) Convolutional Neural Networks • Recurrent Neural Networks • Deep Residual Networks • Deep Reinforcement Learning • Selected Application Areas
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben 90-minute examination or 20-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester
Medienformen Media used	Tafel, Beamer Blackboard, projector
Literatur Reading list	Own Lecture Notes and selected publications. Literature will be announced depending on the concrete topics.

5951	Theory of Evolutionary Computation	PN 455399
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sudholt	
Dozent(in) Lecturer	Sudholt	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 60 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen, Enführung in die Stochastik Algorithms and Data Structures, Introduction to Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Am Ende der Lehrveranstaltung werden Studierende in der Lage sein, • die Effizienz evolutionärer Algorithmen mit entsprechenden Analysemethoden zu analysieren, • die Funktionsweise evolutionärer Algorithmen zu verste-	

	hen und ihre Stärken und Schwächen zu kennen, • den Effekt algorithmischer Design-Entscheidungen und Parameterwahlen auf die Performanz evolutionärer Algorithmen zu verstehen, • fundierte Design-Entscheidungen bei der Anwendung evolutionärer Algorithmen zu treffen und • die Effizienz evolutionärer Algorithmen auf anschaulichen Problemen zu beschreiben. — At the end of the course students will be able to • analyse the efficiency of evolutionary algorithms using appropriate analytical methods • understand the working principles of evolutionary algorithms along with their strengths and weaknesses, • appreciate the effect of design choices and parameters on the performance of evolutionary algorithms, • make informed design choices when using evolutionary algorithms, and • describe the efficiency of evolutionary algorithms on illustrative problems.
Inhalt Course content	Motivation für die Theorie evolutionärer Algorithmen Methoden zur Analyse evolutionärer Algorithmen Laufzeitanalysen für einfache evolutionäre Algorithmen Der Nutzen von Kreuzungen in evolutionären Algorithmen Analyse evolutionärer Algorithmen auf Problemen der kombinatorischen Optimierung und auf multikriteriellen Problemen Verteilte evolutionäre Algorithmen Adaptive Parameter Black-Box-Komplexität — Motivation for a theory of evolutionary algorithms Tools for the analysis of evolutionary algorithms Runtime analyses for simple evolutionary algorithms The usefulness of crossover in evolutionary algorithms Analyses of evolutionary algorithms on problems from combinatorial optimisation and multi-objective problems Parallel evolutionary algorithms Parameter control Black-box complexity
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur oder ca. 25 min mündliche Prüfung; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute examination or 25-minute oral examination; the exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester.

Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Lectures will be based on books, research papers, surveys and tutorials. Related books include: Frank Neumann, Carsten Witt (2010): Bioinspired Computation in Combinatorial Optimization – Algorithms and Their Computational Complexity. Natural Computing Series, Springer, ISBN 978-3-642-16543-6. (`http://bioinspiredcomputation.com/`) Thomas Jansen (2013): Analyzing Evolutionary Algorithms - The Computer Science Perspective, Natural Computing Series, Springer, ISBN 978-3-642-17339-4. Benjamin Doerr and Frank Neumann (Eds.): Theory of Evolutionary Computation - Recent Developments in Discrete Optimization, Natural Computing Series, Springer, ISBN 978-3-030-29413-7. A. Auger, B. Doerr (Eds.): Theory of Randomized Search Heuristics - Foundations and Recent Developments, Series on Theoretical Computer Science 1, ISBN: 978-981-4282-66-6, World Scientific.

5952	Randomisierte Algorithmen Randomised Algorithms	PN 455388
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sudholt	
Dozent(in) Lecturer	Sudholt	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“, Modulgruppe „ITS“ Focus „AlgMath“, Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 75 contact hours + 60 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen, Enführung in die Stochastik Algorithms and Data Structures, Introduction to Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Am Ende der Lehrveranstaltung werden Studierende in der Lage sein, • die Effizienz randomisierter Algorithmen zu analysieren, • Randomisierung als Werkzeug beim Design effizienter	

	Algorithmen einzusetzen, • die Vor- und Nachteile von Randomisierung zu beschreiben, • grundlegende randomisierte Algorithmen für wichtige Probleme zu beschreiben, und • ein Thema im Bereich randomisierte Algorithmen eigenständig darzustellen. — At the end of the course students will be able to • analyse the efficiency of randomised algorithms, • use randomness as a tool in the design of efficient algorithms, • describe the pros and cons of randomised algorithms, • describe fundamental randomised algorithms for important problems, and • work independently on describing a topic from the area of randomised algorithms.
Inhalt Course content	Motivation und Klassifikation randomisierter Algorithmen Paradigmen für den Entwurf randomisierter Algorithmen (z.B. Methode der Fingerabdrücke, Wahrscheinlichkeitsverstärkung, randomisiertes Runden) Methoden zur Analyse randomisierter Algorithmen (z.B. probabilistische Rekurrenzen, Markoffketten, Random Walks, Markoff- und Chernoff-Schranken) Randomisierte Algorithmen für grundlegende Optimierungsprobleme (z.B. Schnittprobleme, MaxSat) — Motivation for randomised algorithms and classification of randomised algorithms Paradigms for the design of randomised algorithms (e.g. fingerprinting, probability amplification, randomised rounding) Methods for the analysis of randomised algorithms (e.g. probabilistic recurrences, Markov chains, random walks, Markov's inequality and Chernoff bounds) Randomised algorithms for fundamental optimisation problems (e.g. cut problems, MaxSat)
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Zwei Teilleistungen: Teilleistung 1 (80%): Klausur oder mündliche Prüfung; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Teilleistung 2 (20%): Schriftliche Ausarbeitung (bis zu 10 Seiten) über ein zusätzliches Thema aus dem Gebiet randomisierte Algorithmen. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen be-

	standen werden. — Two assessment components: Assessment component 1 (80%): Written or oral exam; the exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester. Assessment component 2 (20%): Written work (up to 10 pages) on a subject from randomised algorithms. To pass the examination, both assessment components have to be passed.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Juraj Hromkovič, Randomisierte Algorithmen. Teubner, 2004 Rajeev Motwani, Prabhakar Raghavan, Randomized Algorithms. Cambridge University Press, 1995. Michael Mitzenmacher, Eli Upfal, Probability and Computing, 2^{nd} edition, Cambridge University Press, 2017

5953	Algorithms under Uncertainty	PN 471980
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sudholt	
Dozent(in) Lecturer	Opris	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. selbständige Vor- und Nachbereitung 60 contact hours + 120 hrs independent preparation and studying of the materials	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen, Enführung in die Stochastik, Stochastik für Informatiker Algorithms and Data Structures, Introduction to Stochastics, Mathematics for Computer Science III	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Am Ende der Lehrveranstaltung werden Studierende in der Lage sein, • Unsicherheiten in Problemstellungen zu erkennen, • Unsicherheiten geeignet zu modellieren,	

	• die Effizienz von Algorithmen unter Unsicherheiten zu analysieren, • effiziente Algorithmen zu entwerfen, um gezielt mit Unsicherheiten umgehen zu können. — At the end of the course students will be able to • identify and characterize uncertainties in computational problems, • model uncertainties using appropriate techniques, • evaluate the efficiency of algorithms in uncertain environments, • design efficient algorithms to manage and mitigate uncertainty.
Inhalt Course content	In diesem Kurs betrachten wir Algorithmen, die Entscheidungen nur mit aktueller Information und ohne Wissen über die Zukunft treffen. Solche Online-Entscheidungen treten z. B. bei Job-Scheduling oder Routenplanung auf. Die Hauptthemen des Kurses sind: Modellieren von Problemen unter Unsicherheit (z.B. durch Lineare Programme, Dualitäten, Relaxierungen, Online-Settings, Learning-Settings, Stochastische Methoden) Algorithmen unter Unsicherheit für grundlegende Optimierungsprobleme (z.B. Online Set-Cover, Steinerbäume, Stochastisches Set-Cover, Konvexe Optimierung) Analyse von Algorithmen unter Unsicherheit (z.B. durch kompetitive Analyse, Kostenanalyse oder Laufzeitanalyse, auch unter Zufall) — This course covers algorithms that decide with current information only, without knowing the future. Such online decisions arise in settings like job scheduling and route planning. The main topics include: Modeling problems under uncertainty (e.g., through linear programs, dualities, relaxations, online settings, learning settings, stochastic methods) Algorithms under uncertainty for fundamental optimization problems (e.g., online set cover, Steiner trees, stochastic set cover, convex optimization) Analysis of algorithms under uncertainty (e.g., through competitive analysis, cost analysis, or runtime analysis, also under randomness)
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur oder ca. 30 min mündliche Prüfung; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute examination or 30-minute oral examination; the ex-

	act mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	N. Buchbinder, J. Naor: The Design of Competitive Online Algorithms via a PrimalDual Approach. Foundations and Trends in Theoretical Computer Science 3(2-3): 93-263 (2009) Naveen Garg, Anupam Gupta, Stefano Leonardi, Piotr Sankowski: Stochastic analyses for online combinatorial optimization problems. SODA 2008 D. Shmoys, C. Swamy: Stochastic optimization is (almost) as easy as deterministic optimization, FOCS 2004 A.Gupta, M.Pal,R. Ravi, A.Sinha: Boosted sampling: approximation algorithms for stochastic optimization, STOC 2004 Peter Auer, Nicolo Cesa-Bianchi, Yoav Freund, and Robert E. Schapire. The Nonstochastic Multiarmed Bandit Problem. SIAM J. Comput. 32, 48-77, 2003 Elad Hazan: Introduction to Online Convex Optimization. Foundations and Trends in Optimization. 2:3-4, ISBN-13:978-168083170, 2016.

5954	Design and Implementation of Search Engines	PN 455370
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Krestel	
Dozent(in) Lecturer	Krestel	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenzzeit + 120 Std. Vor- und Nachbearbeitung der Versuche 60 contact hours + 120 hrs laboratory preparation and follow-up	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Information Retrieval und Natural Language Processing, Programmierung in Java Information Retrieval and Natural Language Processing, Programming in Java	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die unterschiedlichen Module einer modernen Volltextsuchmaschine kennen. Sie lernen große Datenmengen zu verarbeiten und mit diesen Daten effizient um-	

	zugehen. — Students get to know the various modules that constitute a modern full text search engine. They learn to process large datasets and handle them efficiently. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben den Entwurf, die Implementierung und die Evaluierung eines komplexen Softwaresystems. Sie lernen in kleinen Teams ein System zu entwickeln. — Students practice the design, implementation, and evaluation of a complex software system. They learn in small teams to develop a system. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden lernen Designentscheidungen abzuwägen und eigenständig zu treffen. Sie begleiten den kompletten Softwareentwicklungsprozess anhand einer selbstentwickelten Suchmaschine und lernen Forschungsergebnisse kritisch zu bewerten und praktisch umzusetzen. — The students learn to evaluate design decisions. They pass through the complete software development cycle by implementing their own search engine. They learn to evaluate research papers and to include research results in their systems.
Inhalt Course content	• Suchmaschinen Grundlagen / Search Engine Basics • Datengewinnung / Data aquisition • Texttransformierung / Text transformation • Informationsextraktion / Information extraction • Indexgenerierung / Index generation • Retrieval-Modelle /retrieval models • Benutzeroberfläche / user interfaces • Evaluierung /evaluation • Dokumentenrepräsentation / document representation • Machinelles Lernen für IR / machine learning for IR • Web Skalierung / Web scale • Performanz / performance • Linkanalyse / link analysis
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Vorführung der Versuche Practical coursework and demonstration of the experiments.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Büttcher, Clarke, Cormack: Information Retrieval – Implementing and Evaluating Search Engines

	Croft, Metzler, Strohman: Search Engines – Information Retrieval in Practice

5956	Deep Learning	PN 455380
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Hinweis: Das Modul wird durch Introduction to Deep Learning ersetzt - keine Doppelanrechnung möglich Notice: Replaced by Introduction to Deep Learning cannot be credited twice.	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Krestel	
Dozent(in) Lecturer	Krestel	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, Lineare Algebra I, Learning Theory Analysis I, Linear Algebra I, Learning Theory	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die theoretischen Grundlagen verstehen, insbesondere den Backpropagation-Algorithmus von Hand anzuwenden. Sie lernen die Grenzen von Deep Learning	

	kennen und bekommen einen Überblick über die aktuelle Forschung. Des Weiteren werden gesellschaftliche Folgen des DL abgeschätzt und diskutiert. — Students learn the theoretic basics and how the backpropagation algorithm works in detail. They learn the limitations of deep learning and get an overview of state-of-the-art research in this area. Further, they learn to assess and discuss the impact of deep learning on society. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können unterschiedliche Netztypen für Deep Learning Anwendungen erklären und Anwendungsgebiete im Bereich Textmining und Bildverarbeitung identifizieren. Sie sind in der Lage geeignete Netzwerkarchitekturen auszuwählen und einzelne Komponenten von neuronalen Netzen zu erklären. — Students can explain different network types for deep learning applications and can identify text mining and image processing tasks appropriate for deep learning. They are able to choose suitable network architectures depending on the task and are able to explain individual components of deep neural networks. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden lernen Deep Learning in Python anzuwenden und eigene Anwendungen zu entwerfen, zu implementieren und zu evaluieren. — The students learn how to design, implement, and evaluate deep learning applications in Python.
Inhalt Course content	• Neural networks • Convolutional neural networks • Recurrent neural networks • Embeddings • Sequence-to-sequence models • Generative deep learning
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Abschlussklausur 90-minute written Examination
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer Presentation with a projector
Literatur Reading list	Francois Chollet: Deep Lerning with Python Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville: Deep Learning

5960	Partielle Differentialgleichungen Partial Differential Equations	PN 405167
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Wirth	
Dozent(in) Lecturer	Mironchenko, Wirth	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“, Modulgruppe „ITS“ Focus „AlgMath“, focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 30 Std. Übungen + 75+75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 30 hrs exercises + 75+75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I+II, Lineare Algebra I+II, Gewöhnliche Differentialgleichungen Analysis I+II, Linear Algebra I+II, Ordinary Differential Equations	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Nach Beendigung dieser Lehrveranstaltung sind Studierende in der Lage, • Fragestellungen der Naturwissenschaften mithilfe von	

	partiellen Differentialgleichungen (PDGl) zu modellieren. • Techniken für die analytische Lösung von Anfangsrandwertaufgaben für PDGl anzuwenden. • die Wohlgestelltheit von Anfangsrandwertaufgaben für PDGl zu untersuchen. • das asymptotische Verhalten der Lösungen von PDGl zu analysieren. — The students will be able to • Model the questions of the natural sciences using the partial differential equations (PDEs). • Apply the techniques for the analytic solution of the initial boundary value problems for PDEs. • Analyze the well-posedness of the initial boundary value problems for PDEs. • Analyze the asymptotic behavior of the solution of PDEs.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: • Modellierung durch partielle Differentialgleichungen • Partielle Differentialgleichungen erster Ordnung. • Sobolevräume • Anfangsrandwertaufgaben für elliptische, parabolische, und hyperbolische Gleichungen. • Darstellungsformeln für die Lösungen von linearen PDGl. • Asymptotik partieller Differentialgleichungen — The following topics will be studied: • Modeling via partial differential equations. • PDEs of the first order • Sobolev spaces • initial boundary value problems for elliptic, parabolic and hyperbolic PDEs • Representation formulas for linear PDEs • Asymptotics of PDEs
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Zwei Teilleistungen: Teilleistung 1 (80%): 90 min Klausur oder ca. 30 min mündliche Prüfung. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Teilleistung 2 (20%): Ausarbeitung (bis zu 10 Seiten) über ein vertiefendes Thema der PDGl.

	Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. Examination in two parts: Part 1 (80%): 90-minute examination or 30-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester. Part 2 (20%): Written paper (up to 10 pages) on an advanced subject from PDEs. To pass the examination both parts have to be passed.
Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Online Lehre via Zoom Blackboard, online teaching via Zoom
Literatur Reading list	L. Evans. Partial Differential Equations, AMS, 2010 W.A. Strauss. Partielle Differentialgleichungen, Vieweg, 1995 C. Cryer. Numerik Partieller Differentialgleichungen (Vorlesungsskript)

5962	Symbolische Dynamik und Kodierung Symbolic Dynamics and Coding	PN 405212
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Wirth	
Dozent(in) Lecturer	Epperlein	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60+30 Std. Präsenz, 90+90 Std. Eigenarbeitszeit 60+30 contact hours, 90+90 hours independent study	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I+II, Lineare Algebra I+II Analysis I+II, Linear Algebra I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Lehramt Mathematik, Bachelor Mathematik, Master Artificial Intelligence Engineering Teacher training programme for secondary education in Mathematics (Gymnasium), Bachelor Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen nach dieser Vorlesung symbolische dynamische Systeme und wissen, wie sich allgemeine Konzepte der Theorie dynamischer Systeme für deren Analyse anwenden lassen. Ferner kennen sie grundlegende Zusammenhänge	

	zwischen symbolischen Systemen, Graphentheorie und der Kodierung und Dekodierung von Daten. — After completion of this course the students know about symbolic dynamical systems and how to apply general concepts from the theory of dynamical systems to the study of shift spaces. Furthermore, they know the basic connections between symbolic systems, graph theory and (de-) coding of data. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden können Werkzeuge aus verschiedenen Bereichen der Mathematik und theoretischen Informatik kombinieren und zur Analyse symbolischer Systeme anwenden. Insbesondere können sie symbolische Systeme mit topologischen Methoden untersuchen. Sie können Algorithmen zur Bestimmung von Codes mit vorgegebenen Eigenschaften anwenden. — The student are able to combine tools from diverse areas of mathematics and theoretical computer science and to apply them to the analysis of symbolic system. In particular they are able to study symbolic systems using topological methods. They can apply algorithms to determine codes with prescribed properties.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: Shift-Räume, Graphen, Codes, Entropie, Perron-Frobenius-Theorie, topologische Markov-Ketten, zelluläre Automaten, Klassifikations- und Entscheidbarkeitsprobleme für Eigenschaften dieser Systeme — The following topics will be covered: shift spaces, graphs, codes, entropy, Perron-Frobenius theory, topological Markov chains, cellular automata, classifcication and decision problems for properties of these systems
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120-minute written exam or oral exam of about 30 minutes. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Beamer-Präsentation, Tafel, Vorlesungsskript, Übungsblätter Presentation with projector, blackboard, lecture notes, exercise sheets
Literatur Reading list	D. Lind, B. Marcus: An Introduction to Symbolic Dynamics and Coding. Cambridge University Press, 1995

5963	Numerik von Differentialgleichungen Numerics of Differential Equations	PN 451012

Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Wirth
Dozent(in) Lecturer	Wirth
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz + 90 + 90 Std. Eigenarbeitszeit 60 + 30 contact hours + 90 + 90 hours independent study
ECTS Credits	9
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II, Gewöhnliche Differentialgleichungen Linear Algebra I+II, Analysis I+II, Ordinary Differential Equations
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Überblick über Methoden zur Schätzung, Bewertung und Steuerung von Approximationsfehlern Klassifikation von Problemen bei Differentialgleichungen Überblick über verschiedene Verfahren zur numerischen Lö-

	sung — An overview over methods for the estimation, evaluation and control of approximation errors Classification of problems of differential equations Knowledge of various methods for the numerical solution Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Problemstellungen theoretisch analysieren und geeignete Rahmenbedingungen für numerische Verfahren auswählen. Sie können numerische Verfahren in Bezug auf Anwendbarkeit und Zweckmäßigkeit beurteilen. — The participants can analyze problems from a theoretical perspective and are able to choose appropriate parameters for numerical methods. They can evaluate numerical methods in terms of applicability and practicability.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: • Verfahren für gewöhnliche Anfangs- und Randwertprobleme, • steife Differentialgleichungen, • Standardverfahren für partielle Differentialgleichungen. — The following topics are covered: • Methods for initial value and boundary value problems of ordinary differential equations, • stiff problems, • standard methods for partial differential equations.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Die Prüfung besteht aus zwei Teilleistungen Teilleistung 1 (80%): 120 min Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 min); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Teilleistung 2 (20%): Ausarbeitung (bis zu 10 Seiten) über ein zusätzliches Thema zur Numerik von Differentialgleichungen. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. — The examination consists of two parts Part 1 (80%): 120 min written exam or oral exam of about 30 min. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester. Part 2 (20%): Written work (up to 10 pages) on a subject on the numerical solution of differential equations. To pass the examination both parts have to be passed.

Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Overhead Blackboard, projector, slides
Literatur Reading list	P. Deuflhard, F. Bornemann Numerische Mathematik II, De Gruyter 2002, Signatur: 80/SK 900 D485-2(4) P. Deuflhard, F. Bornemann Scientific computing with ordinary differential equations, Springer 2002, Number 80/SK 520 D485 K. Strehmel, R. Weiner Numerik gewöhnlicher Differentialgleichungen, Springer Spektrum 2012, Signatur: 80/SK 920 S915 N9(2) M. Hanke-Bourgeois Grundlagen der Numerischen Mathematik und des wissenschaftlichen Rechnens, Teubner 2002

5964	Dynamische Systeme Dynamical Systems	PN 405027
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Wirth	
Dozent(in) Lecturer	Wirth	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz, 90 + 90 Std. Eigenarbeitszeit 60 + 30 contact hours, 90 + 90 hours independent study	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I+II, Analysis I+II Linear Algebra I+II, Analysis I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Begriffe, Konzepte und Phänomene im Bereich topologischer dynamischer Systeme mit kompakten Zustandsräumen. — The participants are familiar with the fundamental notions, concepts and phenomena associated with topological dynami-	

	cal systems on compact state spaces. Fähigkeiten / Abilities Kompetenzen in der selbständigen Bearbeitung von Problemstellungen, Fertigkeiten zur Formulierung und Bearbeitung von theoretischen Fragestellungen mit Hilfe der erlernten Methoden. — Competencies in the independent work on mathematical problems, abilities to formulate and solve theoretical problems by using the acquired methods.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: Topologische dynamische Systeme, Rekurrenz, symbolische Dynamik, Chaos, topologische Entropie — The following topics are covered: Topological dynamical systems, recurrence, symbolic dynamics, chaos, topological entropy
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or oral exam of about 20 minutes. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Overhead, Beamer Slides, projector, blackboard
Literatur Reading list	Katok, Anatole Hasselblatt, Boris - Titel: Introduction to the modern theory of dynamical systems Robinson, Clark -Titel: Dynamical systems Guckenheimer, John - Titel: Nonlinear oscillations, dynamical systems, and bifurcations of vector fields Lasota, Andrzej -Titel: Chaos, fractals, and noise: stochastic aspects of dynamics Amann, Herbert - Titel: Gewöhnliche Differentialgleichungen Wiggins, Stephen - Titel: Introduction to applied nonlinear dynamical systems and chaos Arrowsmith, David K. - Titel: Dynamical systems: differential equations, maps and chaotic behaviour

5967	Mathematische Systemtheorie Mathematical Systems Theory	PN 482401
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Wirth	
Dozent(in) Lecturer	Wirth	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz + 90 + 90 Std. Eigenarbeitszeit 60 + 30 contact hours + 90 + 90 hours lecture and tutorials follow-up and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II, Gewöhnliche Differentialgleichungen Linear Algebra I+II, Analysis I+II, Ordinary Differential Equations	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Grundbegriffe der linearen Systemtheorie, wie Kontrollierbarkeit, Beobachtbarkeit, Stabilisierbarkeit. Sie kennen Methoden der Stabilisierung und des	

	Beobachterentwurfs. Ferner kennen Sie den Zusammenhang zwischen Modellen in Zustandsraumbeschreibung und Frequenzbereichsdarstellungen, Elemente der Realisierungstheorie und der Modellreduktion — The participants are familiar with the fundamental concepts of linear systems theory, such as controllability, stabilizability, observability and they command methods for designing stabilizing feedbacks and observers. They are aware of the relations between state space models and models in the frequency domain. They know elements of realization theory and model reduction. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, Regelungssysteme auf Stabilisierbarkeit und Beobachtbarkeit hin zu prüfen und sie können gegebenenfalls Regler und Beobachter entwerfen. Sie beherrschen die Grundlagen der Modellreduktion. Die Studierenden können unterschiedliche Regelungsaufgabe als linear-quadratisches Problem der optimalen Steuerung formulieren. Sie beherrschen die wesentlichen Lösungsansätze aus der Theorie der Riccatigleichungen. — The participants can analyze control systems and check for stabilizability and observability. If possible, they can design stabilizing feedbacks and observers. They can apply the fundamental techniques of realization theory. They are capable of formulating various control tasks as linear quadratic optimal control problems and they can apply techniques from the theory of Riccati equations to solve these.
Inhalt Course content	Zustandsraumsysteme, Stabilität und Lyapunovfunktionen, Stabilisierung durch Rückkopplung, Polverschiebungssatz, Beobachterentwurf und dynamische Rückkopplung, Eingangs-Ausgangssysteme, Transferfunktionen, Realisierungstheorie, Modellreduktion, Das linear-quadratische optimale Steuerungsproblem, Riccatigleichungen, Folgeregelung. — State space systems, stability and Lyapunov functions, stabilization by feedback, pole placement theorem, observer design and dynamic feedback, input-output systems, transfer functions, realization theory. Model reduction, the linear-quadratic regulator problem, Riccati equations, tracking.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur oder ca. 30 min mündliche Prüfung. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.

	90-minute written examination or 30-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Vorlesungsskript, Übungsblätter Blackboard, projector presentation, lecture notes, exercise sheets
Literatur Reading list	E.D. Sontag: Mathematical Control Theory, Springer-Verlag, New York 1998

5970	Scaling Database Systems	PN 451016
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Scherzinger	
Dozent(in) Lecturer	Scherzinger	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierkenntnisse, Grundlagen Datenbanken- und Informationssysteme Programming skills, fundamentals of databases and information systems	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden verstehen die Bedeutung von Skalierbarkeit bei der Verarbeitung von großen Datenmengen. Sie verstehen die Stärken und Grenzen von SQL-on-Hadoop Systemen.	

	Die Studierenden verstehen den Zusammenhang zwischen der Architektur und der Leistungsfähigkeit eines Datenbankmanagementsystems. — The students understand the importance of scalability when managing large amounts of data. The students understand about strengths and limitations of SQL-on-Hadoop systems. The students understand how database systems architecture enables performance. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden besitzen die Fähigkeit, für ein konkretes Datenverarbeitungsproblem zwischen einem klassischen Datenbankmanagementsystem und einem SQL-on-Hadoop System zu wählen. — The students are able to choose between a classical database management system and a SQL-on-Hadoop system. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz, eigene Optimierungen für Datenmanagementsysteme zu entwickeln und auch zu implementieren. — The students have the competence to design their own optimizations for data management systems, as well as to implement them.
Inhalt Course content	• Speicherung von großen Datenmengen in BigTable-basierten Systemen wie Hadoop File System (HDFS). • Verarbeitung von großen Datenmengen in MapReduce-basierten Systemen wie Hadoop. • Optimierung der Ausführung von SQL Anfragen auf großen Datenmengen (analog zu Hive und Spark). — • Managing large amounts of data in BigTable-based systems such as Hadoop File System (HDFS). • Processing large amounts of data in MapReduce-based systems such as Hadoop. • Optimized evaluation of SQL queries on large volumes of data (as done in Hive and Spark).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Teil 1(30%): Individuelles Programmierprojekt „miniHive“ in Python Teil 2(70%): 60 min. schriftliche Klausur Zum Bestehen des Moduls muss die schriftliche Klausur bestanden werden, sowie das gewichtete arithmetische Mittel der Teilnoten 4,0 oder besser betragen.

	Part 1(30%): Individual Programming project "miniHive" in Python Part 2(70%): 60-minute written examination To pass the examination, the written examination has to be passed, and the weighted arithmetic mean of the component grades must be 4.0 or better.
Medienformen Media used	Flipped Classroom (Videos im Selbststudium, Vertiefung des Stoffes anhand von Übungsaufgaben im Präsenzstudium), begleitendes Programmierprojekt (Python) Flipped classroom (videos for self-study, in-class exercises), programming project (Python)
Literatur Reading list	Martin Kleppmann: Designing Data-Intensive Applications, O'Reilly, 2017. Chuck Lam: Hadoop in Action, Manning, 2010. Donald Miner, Adam Shoock: MapReduce Design Patterns, O'Reilly, 2012. Anand Rajaraman, Jeffrey Ullman: Mining of Massive Datasets, Cambridge University Press, 2020.

5972	Reproducibility Engineering	PN 455420
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Scherzinger	
Dozent(in) Lecturer	Scherzinger	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlegende Programmierkenntnisse, z. B. Python, Erstellen von Dokumenten mit LaTeX, Arbeiten mit der Linux Shell Basic programming skills, e.g., Python, writing documents with LaTeX, working with the Linux shell	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Studierende verstehen den Unterschied zwischen den Termini Repeatability, Reproducibility und Replicability in Datenanalysen. Die Studierenden erkennen typische Schwächen und	

	Nachteile von Datenanalyse-Pipelines. Sie wissen, wie Forschungsartefakte strukturiert und dokumentiert werden müssen, um autarkes Verständnis der beinhalteten Daten sicherzustellen. Die Studierenden verstehen, wie ein Reproduktionspaket Artefakte organisiert. — Students understand the difference between repeatability, reproducibility, and replicability of data analyses. They recognize common weaknesses in data analysis pipelines. The students know how to structure and document research artefacts and how a reproduction package organizes research artifacts. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können bestehende Forschungsanstrengungen reproduzieren, wenn ein Reproduktionspaket vorhanden ist. Sie erkennen typische Schwächen in bestehenden Reproduktionspaketen und sind in der Lage, eigene Reproduktionspakete von Grund auf zu entwerfen und zu veröffentlichen. — The students are able to reproduce research results, given a reproduction package. They recognize obvious weaknesses in given reproduction packages and are able to design and publish a reproduction package of their own. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, die erlernten Kompetenzen in ihrer eigenen Forschung anzuwenden (z. B. im Rahmen der Masterarbeit). Sie sind in der Lage, die erlernten Kompetenzen in ihrer künftigen Erwerbstätigkeit (sowohl in Forschung als auch in Industrie) anzuwenden. — The students are able to apply the skills acquired to their own research (e.g., preparing their Masters thesis). They are able to transfer the skills acquired in their future careers (both in academia and industry).
Inhalt Course content	• The replication crisis • Repetition, replication, and reproduction • Structured presentation of results and literate programming techniques • Different types of reproducibility • Deterministic builds • Ascertaining long-term availability • Producing consistent, readable histories • Electronic notebooks • Packaging research artefacts • Describing execution environments • Traps and Pitfalls

	• DOI safety • Dealing with proprietary artefacts • Dealing with hardware • End-to-end reproduction • Lab Session (continuous): Guided hands-on analysis projects based on real-world scientific data
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-exam with three deliverables: (1) a 2-page written report, (2) a fully automated reproduction package for an individual data analysis project, and (3) a 15-minute presentation. The individual project is chosen in agreement with the lecturer, e.g., reproduction of published research; designing reproduction approaches for projects in the students' field of study; presentation of experiments or deep-dives into selected aspects of reproducibility.
Medienformen Media used	On-site lectures, enhanced with course videos. On-site lab exercises.
Literatur Reading list	Hadley Wickham, Garret Grolemund: R for Data Science: Import, Tidy, Transform, Visualize, and Model Data, O'Reilly (2017) Victoria Stodden, Friedrich Leisch, and Roger D. Peng (eds): Implementing Reproducible Research, CRC Press (2014) Justin Kitzes and Daniel Turek and Fatma Deniz: The practice of reproducible research: case studies and lessons from the data-intensive sciences, University of California Press (2017)

5982	Preference-based Information Retrieval	PN 455365
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Endres	
Dozent(in) Lecturer	Endres	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Datenbanken und Informationssysteme Databases and Information Systems	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Grundbegriffe von Präferenz-basiertem Information Retrieval und Personalisierung. Sie wissen, welche Methoden und Techniken wann eingesetzt werden können. Darüber hinaus kennen sie diverse Anwendungen und die Vorteile und Nachteile der Personalisierung.	

	— The students know the basic concepts of preference-based information retrieval and personalization, and know when to use which technique. They also know different applications and the advantages and disadvantages of personalization. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden besitzen die Fähigkeit die Konzepte und Methoden, Verfahren und Technologien von präferenz-basiertem Information Retrieval zu verstehen, zu bewerten und anzuwenden. — The students have the ability to understand, evaluate, and to create applications using the concepts, methods, and technologies of preference-based information retrieval. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben die Kompetenzen für gegebene Daten und Aufgabenstellungen selbständig präferenz-basierte Information Retrieval Anwendungen zu entwickeln. Darüber hinaus können die Studierenden weiterführende komplexe Problemstellungen auf dem Gebiet der Datenbanken und Informationssysteme, insbesondere unter Verwendung von präferenzbasiertem Information Retrieval und Personalisierung analysieren, bewerten und lösen. — Students acquire the skills to develop preference-based information retrieval applications for given data and tasks independently. In addition, the students are able to analyze, evaluate and solve complex problems in the field of databases and information systems, in particular using preference-based information retrieval and personalization.
Inhalt Course content	Präferenzen sind ein fundamentales, multidisziplinäres Konzept für mannigfaltige Anwendungsgebiete, insbesondere auch im Bereich der Datenbanken und Suchmaschinen. Die Vorlesung behandelt grundlegende Konzepte von Präferenzen in Datenbanksystemen, Personalisierung, präferenzbasierte Suche und Information Retrieval. Insbesondere werden verschiedene Präferenzmodelle, Präferenz-Sprachen, algebraische und kostenbasierte Präferenzanfrage-Optimierung, sowie Auswertungsalgorithmen besprochen. — Preferences are a fundamental, multidisciplinary concept for diversified applications, in particular in the field of databases and search engines. This lecture deals with the basic concepts of preferences in database systems, personalization, preference-based search and information retrieval. We will

	consider different preference models, preference query languages, algebraic and cost-based preference query optimization, as well as algorithms for preference evaluation.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60 min Klausur oder ca. 15min mündliche Prüfung. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 60 min examination or 15 minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Projektor Blackboard, projector
Literatur Reading list	Kießling: Foundations of Preferences in Databases Kießling: Preference Queries with SV-Semantics Kießling, Endres, Wenzel: The Preference SQL System – An Overview Kaci: Working with Preferences: Less is More Stefanidis, Kutrika, Pitoura: A Survey on Representation, Composition and Application of Preferences in Database Systems Chomicki: Preference Formulas in Relational Queries Satzger, Endres, Kießling: A Preference-Based Recommender System Ciaccia: Processing Preference Queries in Standard Database Systems Braman, Domshlak: Preference Handling: An Introductory Tutorial Arvanitis, Koutirka: Towards Preference-Aware Relational Databases Roocks, Endres, Huhn, Kießling, Mandl: Design and Implementation of a Framework for Context-Aware Preference Queries Mandl, Kozachuk, Endres, Kießling: Preference Analytics in EXASolution Endres, Weichmann: Index Structures for Preference Database Queries Endres, Preisinger: Beyond Skylines: Explicit Preferences Endres, Roocks, Kießling: Scalagon: An Efficient Skyline Algorithm for all Seasons

5983	Big Data Management	PN 455374
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Endres	
Dozent(in) Lecturer	Endres	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Kenntnisse in Relationaler Algebra, SQL, z.B. aus einer vorherigen Datenbankvorlesung Comprehension of the relational data model, relational algebra, and SQL language, obtained, e.g., from a database course	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Students understand the design goals, benefits and drawbacks of NoSQL database systems. They are able to decide which database system is appropriate for a given application depending on suitable criteria. They can	

	design database structures for different NoSQL data models. They understand the implementation of internal components and storage structures of selected database systems.
Inhalt Course content	This course covers recent trends in data management (e.g., so-called NoSQL databases) that go beyond the traditional relational data model. Such systems are designed to fulfill novel requirements (e.g., the ability to scale out or schema flexibility). They often relax requirements of traditional relational databases (e.g., consistency). In the course, we will discuss different approaches to model, manage, store, and retrieve data.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur oder ca. 15min mündliche Prüfung. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90 min examination or 15 minutes oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Projektor Blackboard, projector
Literatur Reading list	Advanced Data Management, Lena Wiese MongoDB: The Definitive Guide, Shannon Bradshaw, Kristina Chodorow Cassandra: The Definitive Guide, Jeff Carpenter Graph Algorithms: Practical Examples in Apache Spark and Neo4j High Performance Spark: Best practices for scaling optimizing Apache Spark, Holden Karau Learning Spark: Lightning-Fast Data Analysis, Holden Karau Advanced Analytics with Spark: Patterns for Learning from Data at Scal, Josh Wills

5992 Stochastische partielle Differentialgleichungen Stochastic Partial Differentioal Equations	PN 405245
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	4V
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 150 Std. Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 150 hours independent study and exam preparation
ECTS Credits	7
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II, Einführung in die Stochastik, Stochastische Analysis, Stochastische Differentialgleichungen Linear Algebra I + II, Analysis I + II, Introductory Stochastics, Stochastic Analysis, Stochastic Differential Equations
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Grundlagen der Theorie semi-linearer stochastischer partieller

	Differentialgleichungen und der zugrundeliegenden Konzepte aus der Funktionalanalysis und Wahrscheinlichkeitstheorie — Basic knowledge on semi-linear stochastic partial differential equations and the underlying concepts from functional analysis and probability theory Fähigkeiten / Abilities Beherrschung und Anwendung der Grundbegriffe aus der Theorie stochastischer partieller Differentialgleichungen und der zugrundeliegenden Konzepte aus der Funktionalanalysis und Wahrscheinlichkeitstheorie — Good command of and ability to apply the basic principles of semi-linear stochastic partial differential equations and the underlying concepts from functional analysis and probability theory
Inhalt Course content	Funktionalanalytische Konzepte: Nukleare Operatoren, Hilbert-Schmidt-Operatoren, Diagonaloperatoren auf Hilberträumen, Interpolationsräume für Diagonaloperatoren, Halbgruppen beschränkter linearer Operatoren. Wahrscheintlichkeitstheoretische Konzepte: Banachraumwertige Zufallsvariablen und stochastische Prozesse, unendlich-dimensionale Brownsche Bewegung, stochastische Integration bezüglich unendlich-dimensionaler Brownscher Bewegungen. Stochastische partielle Differentialgleichungen: Lösungskonzepte, Existenz und Eindeutigkeit, Eigenschaften von Lösungen. — Functionalanalytic concepts: Nuclear operators, Hilbert-Schmidt-operators, diagonal operator on Hilbert spaces, interpolation spaces associated with diagonal operators, semi-groups of bounded linear operators. Concepts from probability theory: Banach space valued random variables and stochastic processes, infinite-dimensional Brownian motion, stochastic integration wrt. infinite-dimensional Brownian motion. Stochastic partial differential equations: Types of solutions, existence and uniqueness, properties of solutions.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur (120 Minuten) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten). Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written examination (120 minutes) or oral examination (about

	30 minutes). The exact mode of assessment will be indicated at the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Nach Empfehlung des Dozenten Announced during the lecture

5994 Numerik der Polynom- und rationalen Approximation	PN 485383
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Forster-Heinlein
Dozent(in) Lecturer	Forster-Heinlein
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	30+15 Std. Präsenz + 50+55 Std. Eigenarbeitszeit 30+15 contact hours + 50+55 hours lecture and tutorials follow-up and exam preparation
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II, Vorlesung zur Numerik Linear Algebra I + II, Analysis I + II, lecture on numerics
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen nach dieser Vorlesung die Konzepte der Polynomapproximation und der rationalen Approximation. Sie verstehen die Tchebycheff-Approximation und deren numerische Anwendung. Insbesondere kennen und verstehen sie die unterschiedlichen Konvergenzeigenschaften für Funktionsklassen mit unterschiedlicher Regularität.

	Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Approximationsverfahren implementieren, modifizieren und in gewissem Rahmen auch neu entwickeln. Insbesondere können sie Polynom-Approximation und rationale Approximation mit anderen Verfahren vergleichen und bewerten. Die Studierenden haben die Kompetenz, mit polynomialen und rationalen Approximationsverfahren theoretisch und praktisch umzugehen.
Inhalt Course content	Tchebycheff-Polynome zur Interpolation und Approximation, Baryzentrische Interpolation, Gibbs Phänomene, Aliasing, Kriterien zur Konvergenzgeschwindigkeit der Approximation, Runges Phänomen, Polynomiale und Rationale Best- und Near-Best-Approximation, Orthogonalpolynome, Carathéodory-Féjer-Approximation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60 min Klausur oder ca. 20 min mündliche Prüfung. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 60-minute written examination or 20-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the beginning of the semester
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Übungsblätter Presentation, projector, exercise sheets
Literatur Reading list	Lloyd N. Trefethen: Approximation Theory and Approximation Practice. SIAM, 2013

5995	Advanced Imaging	PN 454020
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer	
Dozent(in) Lecturer	Sauer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I/II, Lineare Algebra I/II, Bildverarbeitung Analysis I,II, Linear Algebra I,II, Basics of image and signal processing	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen fortgeschrittene, moderne Methoden der Bildverarbeitung. — Students know advanced modern methods of image proces-	

	sing. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können die Herleitung der Methoden nachvollziehen und darauf basierend neue Methoden entwickeln und adaptieren. — Students are able to understand the derivation of methods and are able to use this ability to develop and adopt new methods. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, fortgeschrittene Konzepte und Methoden der Bildverarbeitung für konkrete Probleme einzusetzen und zu evaluieren. — Students have the competences to use and evaluate advanced concepts and methods of image processing.
Inhalt Course content	Diffusionsmethoden für Entrauschen und Komprimierung, maschinelles Lernen, Impainting, Sparsity/Compressive Sensing — Diffusion methods for noise reduction and compression, machine learning, impainting, sparsity/compressive sensing
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Schriftliche Prüfung (90 Minuten) oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten) Written exam (90 minutes) or oral examination (about 20 minutes)
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation and projector
Literatur Reading list	Stockhausen, Methoden der Digitalen Signalverarbeitung Mallat, A Wavelet Tour to Signal Processing Originalarbeiten

5996	Markovketten	PN 456346
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Gilch	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz, 90 + 90 Std. Eigenarbeitszeit 60 + 30 hours, 90 + 90 hours exercises and independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, Lineare Algebra I, Einführung in die Stochastik Analysis I, Linear Algebra I, Introduction to Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik, Master Artificial Intelligence Engineering Bachelor Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Theorie von Markovketten. Das beinhaltet die Vermittlung der grundlegenden Konzepte von Markovketten, unterschiedlicher Verhalten von Irrfahrten auf unendlichen Zustandsräumen als auch verschiedener Anwendungsmöglichkeiten. Ferner wird den Studierenden das Zusammenspiel verschiedener mathe-	

	matischer Bereiche (Wahrscheinlichkeitstheorie, Analysis, Algebra, Graphentheorie) demonstriert. — The students shall get an overview on Markov chain theory. They shall acquire the basic concepts of Markov chains, different behaviours of random walks on infinite structures and their applications. Furthermore, the interplay of different mathematical fields (Probability Theory, Analysis, Algebra, Graph Theory) will be demonstrated.
Inhalt Course content	Grundlagen der Theorie von Markovketten, Rekurrenz und Transienz, invariante Maße und Gleichgewichte, Stoppzeiten, Erzeugendenfunktionen, Reduzible und irreduzible Klassen, Irrfahrten auf Graphen und Gruppen, Asymptotisches Verhalten von Markovketten und Tail-σ-Algebra, Galton-Watson Prozesse und Verzweigende Irrfahrten — Fundamental basics of Markov chain theory, recurrence and transience, invariant measures and equilibria, stopping times, generating Functions, reducible and irreducible classes, random Walks on Graphs and Groups, asymptotic behaviour of Markov chains and tail-σ-algebra, Galton-Watson process and branching random walks
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minütige schriftliche Prüfung oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90 minute written or 30 minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer Blackboard, Beamer
Literatur Reading list	P. Brémaud: „Markov Chains: Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation, and Queues“, Springer, 1999. R. Durett: „Probability. Theory and Examples. (Fourth Edition)“, Cambridge University Press, 2010. G. Grimmett and D. Welsh: „Probability: An Introduction“, Oxford University Press, 2014. W. Woess: „Denumerable Markov Chains“, European Mathematical Society Publishing House, 2009.

6001	Ideation & Prototyping for Industrial Innovation	PN 479551
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz	
Dozent(in) Lecturer	Kranz	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	3Ü Während den Übungsterminen gilt Anwesenheitspflicht.	
Arbeitsaufwand Workload	30 Std Präsenz und 120 Std. Vor- und Nachbereitung Gesamt: 150 Std.	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung in Java, Mensch-Maschine-Interaktion, MES Praktikum oder SEP, zusätzlich ggf. Verteilte Systeme Programming in Java, Human-Computer-Interaction, MES Practical, SEP, Distributed Systems	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben vertiefte Fachkenntnisse und deren praktische Umsetzung im Bereich des Prototypings und der Ideation. Diverse Methoden und „best practices“ der Ideation, von der Ideengenerierung, deren Entwicklung und Kommunikation werden präsentiert und praktisch in Gruppenarbeiten	

	umgesetzt. Unterstützt durch das im Lehrstuhleigenen FabLab können praxisnahe, physische Prototypen unter Aufsicht eines Coaches erstellt werden. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage, kreative Ideation Prozesse praktisch auf gegebene Problemstellungen anzuwenden und umzusetzen. Die Studierenden vertiefen Ihr Wissen im Bereich der Ideation und des Rapid Prototypings und können im FabLab erste Erfahrungen mit dem 3D Druck und dem Einsatz eines Lasercutters für die Prototypgestaltung sammeln. Studierende sind in der Lage physische Prototypen mit integrierter Logik zu entwerfen und zu designen und zu programmieren. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden können die gegebenen Problemstellungen kompetent analysieren, geeignete Methoden der Ideation und des Prototypings auswählen und dieser praktisch anwenden. An Hand der Ergebnisse können die Studierenden eine Bewertung der Ergebnisse vornehmen und diese interpretieren und mit agilen Methoden schrittweise anpassen und verfeinern.
Inhalt Course content	Methoden des Ideation & Prototypings werden den Studierenden im Bezug zu realitäts(praxis)- bzw. forschungsnahe Themenstellungen vorgestellt. Während der Übungstermine werden in Teams ausgewählte Methoden praktisch angewandt und Umgesetzt. Dies deckt den kompletten Bereich, von der kreativen Ideenfindung bis hin zu einem fertigen, präsentierbaren (low/high)-fidelity Prototypen durch Einsatz von Werkzeugen im lehrstuhleigenen FabLab ab.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung, die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters durch Aushang auf den Internetseiten der Fakultät bzw. in der Vorlesung bekannt gegeben. **mögliche Portfoliobestandteile sind:** • Anfertigung von geeigneten Prototypen und Entwürfen für Benutzungsschnittstellen für vorgegebene Anwendungskontexte und deren Dokumentation • Entwurf, Durchführung, Dokumentation und Auswertung kleiner Benutzerstudien • Präsentation der erstellten Materialien unter Einsatz geeigneter Präsentationstechniken, z.B. PowerPoint, Desktopreviews, Postern, Flipchart, Whiteboard, Tafel Portfolio-exam, the exact mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation Presentations

Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

6003 Science and Technology Project in Physical Making, Prototyping and Testing	PN 455342
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz
Dozent(in) Lecturer	Kranz
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“
Lehrform/SWS Contact hours	8P Für ausgewählte Kolloquien, Workshops, sowie für spezifische Laborarbeiten die im Rahmen einer spezifischen Themenstellung notwendig sind, besteht Anwesenheitspflicht. Begründung der Anwesenheitspflicht bei Laborarbeiten: Die Aufgabenstellung kann besondere Ausstattung (Geräte, Arbeitsplätze, etc.) erfordern, die nur in den Laboren und Räumen der Universität in geeigneter Weise zur Verfügung steht. Ferner ist ggf. eine direkte Betreuung und Unterweisung an speziellen Geräten notwendig bzw. eine Aufsicht der Nutzung der Labore. Daher ist in der Regel eine Bearbeitung außerhalb dieses Kontextes nicht möglich und die Anwesenheit Voraussetzung für die erfolgreiche Bearbeitung.
Arbeitsaufwand Workload	40 Std. Einarbeitung in wissenschaftliche Themenstellung + 45 Std. Literaturrecherche + 25 Std. Projektmanagement + 70 Std. Analyse und Spezifikation + 110 Std. Entwurf und Implementierung + 40 Std. Validierung und Evaluation + 10 Std. Berichterstellung + 10 Std. Kolloquien und deren Vorbereitung + 10 Std. Präsentation und deren Vorbereitung Gesamt: 360 Std.
ECTS Credits	8
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per	Keine None

the study and examination regulations	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Writing Technical and Scientific Reports, Mobile Human-Computer Interaction oder Grundlagen der Mensch-Maschine Interaktion Writing Technical and Scientific Reports, Mobile Human-Computer Interaction or Basics of Human-Computer-Interaction
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die grundlegenden Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge eines Nutzer-zentrierten und Technologie-orientierten Making-Prozesses kennen. Die Studierenden erwerben Kenntnisse über Ideation und Kreativitätsprozesse und unterstützende Methoden und Werkzeuge. Dazu zählt auch die Gestaltung der Arbeits- und Ideationumgebung. Die Studierenden kennen die notwendigen Basistechnologien und deren Vor- und Nachteile in den verschiedenen Einsatzbereichen, z.B. additive und subtraktive Fertigungsverfahren inklusive den notwendigen Grundlagen der verwendeten Werkstoffe und Materialien. Die Studierenden kennen grundlegende Technologien und Werkzeuge zur Entwicklung digitaler Prototypen und Demonstratoren. Sie wissen sie vorgefertigte, kommerziell verfügbare elektronische Module zur Sensor- und Aktor-Steuerung an Standard-Plattformen (Intel Edison, ARM Cortex) anbinden um interaktive Systeme zu realisieren. Sie kennen einfache Programmierumgebungen und -werkzeuge diese Prototyping-Prozesse bestmöglich unterstützen. Im Bereich der mobilen Technologien kennen die Studierenden die grundlegenden Ansätze zur Programmierung Android-basierter mobiler Endgeräte (Smartphones, Wearables, SmartHome, Digital Health, ...). Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können ausgewählte Kreativitätstechniken anwenden um in interdisziplinären Teams Ideen und Lösungsvorschläge unter Anwendung methodischer Vorgehensweisen zu erarbeiten. Sie kennen Prototyping-Werkzeuge und Maker-Technologien zur Umsetzung von Konzeptstudien und Prototypen. Sie können Software- und Hardware Werkzeuge an Hand der jeweiligen Anforderungen des Prototyps bewerten und auswählen und einfache Prototypen mit Hilfe geeigne-

	ter Maschinen umsetzen. Sie kennen Software-Werkzeuge zur Modellierung und können einfache Werkstücke erstellen bzw. bearbeiten, z.B. 3D Modeller für den 3D Druck oder CNC Fräsen für subtraktive Werkstückbearbeitung. Sie kennen grundlegende Prototyping-Umgebungen und können einfache eingebettete Systeme mit Sensoren, Aktoren und Kommunikationssystemen programmieren und zu einem interaktiven System verknüpfen. Sie können einfache Programme für die Android-Plattform schreiben um interaktive Prototypen für Smartphone, Wearable, SmartHome, Digital Health und andere Android-basierte Systeme umzusetzen. Die Studierenden erwerben erste praktische Erfahrungen in der Anwendung der entsprechenden Technologien und Methoden aus dem Kerngebiet dieser Lehrveranstaltung. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden können die Themenstellung kompetent analysieren, Ideen dazu erstellen und bewerten, geeignete Prototyping-Methoden auswählen, Evaluationsmethoden bewerten und wählen sowie die Datenerfassung und -auswertung planen und durchführen. An Hand der Ergebnisse können die Studierenden eine Bewertung der Ergebnisse vornehmen und diese interpretieren. Die Studierenden können einfache Fallstellungen selbst umsetzen und bewerten.
Inhalt Course content	Im Rahmen des Praktikums wird eine realitäts- bzw. forschungsnahe Problemstellung aus dem Kontext des Studienganges mittels der Problemstellung angemessener Methoden und Werkzeuge weitestgehend eigenständig bearbeitet. Dabei werden geeignete Vorgehensweisen zur Projekt- und Arbeitsorganisation angewendet. Das jeweils entsprechend der Aufgaben- und Problemstellung angemessene Vorgehen entspricht dabei so weit wie möglich der bestehenden Praxis in der wissenschaftlichen Arbeit, Praxis und Forschung. Es wird ein komplexes Projekt systematisch bearbeitet. Die Bearbeitung des Projektes erfolgt dabei allein durch den Studierenden. Die durchzuführende Projektarbeit wird geeignet in bearbeitbare Arbeitspakete unterteilt. Die Umfänge und Gewichtungen der einzelnen Aktivitäten eines jeden Arbeitspakets sind dabei von der konkreten Problemstellung abhängig. Dies gilt ebenfalls für die konkret anzuwendenden Methoden bzw. einzusetzenden Werkzeuge. Diese können auf Grund der Vielfältigkeit des Studiengangs nur im Kontext der konkreten Problemstellung ausgewählt werden. Die Studierenden erhalten in Workshops und durch Coachings und Hands-on Einführungen didaktisch aufbereitete Einführungen in die verschiedenen Technologien, Werkzeuge und

Methoden. In gemeinsamen Sitzungen werden repräsentative Beispiele gemeinsam umgesetzt um die Studierenden danach zu eigener Anwendung, ggf. nach zusätzlichem Selbststudium, zu befähigen. Bei der Bearbeitung des vorlesungsbegleitenden Projekts werden folgende Aktivitäten für die 1.) Implementierung bzw. für die 2.) Mensch-Maschine-Interaktion bzw. für die 3.) wirtschaftlichen und rechtlichen Aspekte abgedeckt:

1. Analyse

1.) Detaillierte Festlegung der Anforderungen an das System. Beachtung der Grundprinzipien Präzision, Vollständigkeit und Konsistenz. Der Inhalt umfasst das Systemmodell als Übersicht, die geeignete Beschreibung der Systemumgebung mittels geeigneter Werkzeuge, sowie die Erfassung und Dokumentation funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen.

2.) Für die Mensch-Maschine Interaktion sind, zusätzlich zu den genannten Aufgaben, Prototyping-Methoden einzusetzen (z.B. Wizard-of-Oz) bzw. Studien zur Identifikation der Nutzergruppen (z.B. Interviews) durchzuführen.

3.) Hierbei sollen insbesondere auch rechtliche und wirtschaftliche Aspekte behandelt werden.

2. Entwurf

1.) Hauptbestandteil ist ein systematischer Grobentwurf eines Systems, das die in der Analyse ermittelten Anforderungen bestmöglich erfüllt. Auf dieser Basis wird ein detaillierter Entwurf ausgearbeitet, der mit der Problemstellung angemessenen, domänenspezifischen Werkzeugen und Vorgehensweisen das umzusetzende System spezifiziert und dokumentiert.

2.) Die Mensch-Maschine Interaktion ist, im Gegensatz zum Hauptsystem, mittels Prototyping-Methoden agil und iterativ zu entwerfen und zu validieren. Dazu sind z.B. Methoden zur Erstellung horizontaler bzw. vertikaler High-Level/Low-Level Prototypen aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion einzusetzen.

3.) Wirtschaftliche und rechtliche Aspekte sollten bei der Machbarkeitsuntersuchung dediziert erfasst, bewertet und einbezogen werden.

3. Umsetzung

1.) Im Rahmen der Umsetzung erfolgt die tatsächliche Realisierung des entworfenen Systems. Das System besteht in der Regel aus Software- und Hardware-Komponenten. Zur Realisierung sind bestehende, konfigurierbare Softwarebausteine mit eigener Software zu ergänzen und zu einem lauffähigen Gesamtsystem zu integrieren. Hierzu werden Methoden aus dem Bereich der verteilten Systeme, z.B. Architekturentwurf, oder der vernetzten Systeme, z.B. Socket-Programmierung,

verwendet.
2.) Die Umsetzung der Mensch-Maschine Interaktion wird durch spezielle Frameworks und Entwicklungssysteme unterstützt, z.B. aus dem Bereich mobiler Anwendungen.
3.) Geeignete Kalkulationen und rechtliche Bewertungen sollten die Realisierbarkeit an Hand quantitativer Daten belegen.
4. Validierung und Verifikation
1.) Validierung und Verifikation der Ergebnisse von Entwurf und Umsetzung auf Grundlage der durch Analyse bestimmten Anforderungen.
2.) Die Anwendung ist durch geeignete Methoden aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion zu evaluieren und die Ergebnisse sind kritisch zu diskutieren. Dazu können z.B. Beobachtung, Fragebögen, Effizienz- und Fehlermessungen bei der Interaktion eingesetzt werden. Zur Auswertung kommen geeignete Methoden aus der Mathematik und Statistik zum Einsatz, sowie entsprechende Spezialsoftware (z.B. SPSS, Matlab).
3.) Entsprechende Belege sind auch für wirtschaftliche Tragfähigkeit des Konzepts zu erbringen.
Allgemein gilt dabei:
Jedes Arbeitspaket kann eine oder mehrere dieser Aktivitäten umfassen und jede Aktivität kann Gegenstand von einem oder mehreren Arbeitspaketen sein. Dabei müssen alle Inhalte der Aufgabenstellung durch Arbeitspakete adäquat abgedeckt sein. In den einzelnen Arbeitspaketen kommen projekt- und domänenspezifische Werkzeuge, Methoden und Beschreibungs-sprachen zum Einsatz. Das Ergebnis eines jeden Arbeitspaket ist ein eigenes Dokument, ggf. begleitet von Software, ggf. begleitet von Anhängen mit z.B. Software oder Beschreibungen von Hardwareblöcken in geeigneten Spezifikationssprachen.
Jedes Arbeitspaket schließt mit einem kurzen Kolloquium ab, in dem die Ergebnisse den Betreuern präsentiert und verteidigt werden. Das Kolloquium kann auch die Präsentation zusammen mit anderen Teams umfassen um eine reflektive Diskussion über die Ergebnisse und Vorgehensweisen zu ermöglichen. Zu jedem Kolloquium ist darüber hinaus ein Bericht abzugeben. Der Studierende wird durch regelmäßige Treffen mit dem Betreuer unterstützt, deren Häufigkeit der aktuellen Phase bzw. dem Bearbeitungsfortschritt angemessen ist.
Das Praktikum schließt mit einem Abschlusskolloquium ab, in dem das fertig entwickelte System präsentiert und abgenommen wird.
Programmiersprachen sind hauptsächlich: C/C++ / Java /

	JavaScript / Phyton Darüber hinaus werden der Problemstellung angemessene spezifische Werkzeuge und Methoden eingesetzt.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Schriftliche Dokumentation in Form eines technischen Berichts, mündliche Kolloquien zu den Arbeitspaketen die durch geeignete Medien (z.B. Folien) unterstützt werden, dokumentierter und funktionsfähiger Prototyp inklusive Quelltext inkl. aller zur Demonstration notwendigen Informationen, sowie einer Systemdemonstration und Präsentation im Rahmen einer Abschlussveranstaltung.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Gruppenarbeit, Wiki Presentation with projector, group work, wiki
Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben und richtet sich nach dem Leitthema des Jahrgangs. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

6004	Embedded Systems Programming	PN 479610
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz	
Dozent(in) Lecturer	Kranz	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4P Für die Lehrveranstaltung besteht Anwesenheitspflicht. Es findet eine wissenschaftlich-technische Einführung zu den Themen der Lehrveranstaltung statt, diese werden in den anschließenden Übungen direkt mit der Übungsleitung praktisch umgesetzt. Begründung: In der Lehrveranstaltung arbeiten die Teams von Studierenden an einem größeren Projekt über das ganze Semester hindurch. Es zu jedem Arbeitspaket bzw. Themengebiet ein Kolloquium statt, in denen über die Fortschritte berichtet, aufgetretene Probleme ausgetauscht und ihre Lösungen diskutiert werden; am Ende findet ein Abschlusskolloquium statt. Wird keine umfassende Anwesenheit bei den Kolloquien gefordert, wird die Kompetenz nicht geübt, vor anderen Studierenden zu präsentieren und auf ihre Fragen und Anmerkungen (und nicht nur die des Dozenten) einzugehen und diese zu diskutieren. Die Kompetenz, die präsentierten Inhalte zu analysieren, bewerten und kritisch zu diskutieren ist eine wesentliche Anwendung der Lehrveranstaltungsinhalte die nur bei Präsenz eingeübt werden kann. Die vereinzelte Abwesenheit aus nicht vom Studierenden zu vertretenden und nachgewiesenen Gründen ist möglich. Darüber hinaus kann die spezifische Aufgabenstellung besondere Ausstattung erfordern, die nur in den Laboren und Räumen der Universität in geeigneter Weise zur Verfügung steht. Ferner ist ggf. eine direkte Betreuung und Unterweisung an speziellen Geräten notwendig. Daher ist bei spezifischer Aufga-	

	benstellung eine Bearbeitung außerhalb dieses Kontextes nicht möglich und die Anwesenheit dann zwingende Voraussetzung für die erfolgreiche Bearbeitung. Andernfalls ist die erfolgreiche Teilnahme an der Lehrveranstaltung gefährdet.
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz und 150 Std. Vor- und Nachbearbeitung 60 hrs presence and 150 hrs self study
ECTS Credits	8
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung in Java oder Grundlagen der Programmierung 1 und 2, MES Praktikum oder SEP Programming in Java or Programming 1 and 2, MES Practical or SEP
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die Realisierung von umfangreichen Engineering-Projekten aus dem Kontext Eingebetteter Systeme und die dazu notwendigen Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge kennen. Theoretische Kenntnisse vom Entwurf hardwarenaher Systeme, der Entwicklung spezialisierter Anwendungen und allgemeiner Software-Systeme werden praktisch angewendet und durch die Systementwicklung eines komplexeren Gesamtsystems vertieft. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden beherrschen die praktischen Fragestellungen der Entwicklung und Umsetzung von Systemen bestehend aus eingebetteten Systemen in technischen Kontexten. Die Studierenden beherrschen die relevanten Werkzeuge und Systeme für die Entwicklung und Testung eingebetteter Systeme und Entwicklungsparadigmen. Die Studierenden können in einem kleinen Team effektive Lösungen erarbeiten und durchführen und erfolgreich ein vorlesungsbegleitendes Projekt im Team realisieren. Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erlernen soziale Kompetenz durch die Team-

	arbeit und die notwendigen organisatorischen und fachlichen Kompetenzen zur Durchführung von Projekten aus dem Kontext der eingebetteten Anwendungsentwicklung erfolgreich zu bearbeiten. Teil des Lernziels besteht in der Abschätzung und Kontrolle des Arbeitsaufwandes, sowie der Entwicklung von Strategien zum erfolgreichen Projektmanagement. Dazu werden Stundenzettel geführt.
Inhalt Course content	Im Rahmen der Lehrveranstaltung wird ein dem Umfang der Lehrveranstaltung angepasstes eingebettetes System realitätsnah entwickelt mittels der Problemstellung angemessener Methoden und Werkzeuge im Team bearbeitet unter Anwendung geeigneter Vorgehensweisen zur Projekt- und Arbeitsorganisation. Insbesondere werden Vorgehensweisen aus den Bereichen Software Entwicklung (Prototyping, Entwicklung, Test-Driven Development, Entwicklungsprozesse, Continous Integration Server) und hardwarenahem Systems Engineering (hardware in the loop (HIL), in-circuit debugging (ICD), Simulationssysteme) eingesetzt. Das Vorgehen deckt sich soweit möglich mit bestehender Praxis aus Industrie und Forschung. Teams von in der Regel 2-3 Studierenden bearbeiten in der Übung gemeinsam und systematisch ein kleineres Projekt, das in mehrere Arbeitspakete strukturiert ist. Die genaue Aufgabenstellung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung schriftlich in Form einer Zielvorgabe mit minimalen Eigenschaften als Bestehenskriterien vorgegeben. Bei der Bearbeitung des vorlesungsbegleitenden Projekts werden folgende Engineering-Aktivitäten abgedeckt: **1. Analyse** Detaillierte Festlegung der Anforderungen an das System. Beachtung der Grundprinzipien Präzision, Vollständigkeit und Konsistenz. Der Inhalt umfasst das Systemmodell als Übersicht, die geeignete Beschreibung der Systemumgebung mittels geeigneter Werkzeuge, sowie die Erfassung und Dokumentation funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen. **2. Entwurf** Hauptbestandteil ist ein systematischer Grobentwurf eines Systems, das die in der Analyse ermittelten Anforderungen bestmöglich erfüllt. Auf dieser Basis wird ein detaillierter Entwurf ausgearbeitet, der mit der Problemstellung angemessenen, domänenspezifischen Werkzeugen und Vorgehensweisen das umzusetzende System spezifiziert und dokumentiert. **3. Umsetzung** Im Rahmen der Umsetzung erfolgt die tatsächliche Realisierung des entworfenen Systems. Das System besteht in der Regel aus Software- und Hardware-Komponenten. Zur Rea-

	lisierung sind bestehende, konfigurierbare Softwarebausteine mit eigener Software zu ergänzen und zu einem lauffähigen Gesamtsystem zu integrieren. Hierzu werden Methoden aus dem Bereich der verteilten Systeme, z.B. Architekturentwurf, oder der vernetzten Systeme, z.B. Socket-Programmierung, verwendet. **4. Validierung und Verifikation** Validierung und Verifikation der Ergebnisse von Entwurf und Umsetzung auf Grundlage der durch Analyse bestimmten Anforderungen. Jedes Arbeitspaket kann eine oder mehrere dieser Aktivitäten umfassen und jede Aktivität kann Gegenstand eines oder mehrerer Arbeitspakete sein. Dabei müssen alle Aktivitäten durch Arbeitspakete adäquat abgedeckt sein. In den einzelnen Arbeitspaketen kommen projekt- und domänenspezifische Werkzeuge und Methoden zum Einsatz. Zu allen Arbeitspaketen werden Arbeitseinheiten definiert, deren Aufwand abgeschätzt und deren Realisierung z.B. anhand einer Gantt-Chart organisiert und durchgeführt. Das Ergebnis jedes Arbeitspakets wird durch einen kurzen Bericht dokumentiert, ggf. begleitet von Software. Aus dem Bericht sind auch Aufwandsabweichungen und Korrekturen vorangegangener Arbeitspakete ersichtlich. Jedes Arbeitspaket schließt mit einem Kurzvortrag in der nächsten Einheit ab. Die Teams werden durch ein festes wöchentliches Treffen mit dem Betreuer unterstützt. Die Lehrveranstaltung schließt mit einem Abschlusskolloquium ab, in dem das fertig entwickelte System präsentiert und abgenommen wird.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Schriftliche Dokumentation in Form eines technischen Berichts, mündliche Präsentationen zu den Arbeitspaketen die durch geeignete Medien (z.B. Folien) unterstützt werden, dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext inkl. aller zur Demonstration notwendigen Informationen, sowie einer Systemdemonstration im Rahmen des Abschlusskolloquiums.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Gruppenarbeit, Wiki Presentation with projector, group work, wiki
Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben.

6020	Mathematische Logik Mathematical Logic	PN 455362
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes zweite oder dritte Semester Every second or third semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kaiser, Müller	
Dozent(in) Lecturer	Kaiser, Müller	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz, 120 + 60 Std. Eigenarbeitszeit und Prüfungsvorbereitung 60 + 30 contact hours, 120 + 60 hours independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine Vorkenntnisse notwendig. Nützlich: Theoretische Informatik, Algebra Nothing necessary. Useful: Theoretical Computer Science, Algebra	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Working knowledge of • syntax and semantics of first-order logic • formal notions proof and their equivalence	

	• Gödel's completeness theorem and the compactness theorem • formal notions of computation and their equivalence • basics of (un)computability theory • representations of computations in formal theories • Gödel's Incompleteness theorems
Inhalt Course content	Two of the most important achievements of mathematics in the last century are the formalization of the notion of computation by Church and Turing, and Gödel's Incompleteness theorems. Both root in the so-called foundational crisis of mathematics around 1900 and the birth of modern mathematical logic. The course starts with an introduction to the syntax and semantics of first-order logic and formal notions of proof; it proves Gödel's completeness theorem and the compactness theorem. Its second part introduces formal notions of computation and gives an introduction to the theory of (un)computability. The third part connects the first two showing how to represent computations in formal theories of arithmetic, and proves Gödel's Incompleteness theorems.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Zwei Teilleistungen: Teilleistung 1 (2/3): 120-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Teilleistung 2 (1/3): Ausarbeitung (bis zu 10 Seiten) über ein zusätzliches Thema der mathematischen Logik. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. Examination in two parts: Part 1 (2/3): 120-minute written or oral exam of about 30 minutes. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester. Part 2 (1/3): Written work (up to 10 pages) on a subject from Mathematical Logic. To pass the examination both parts have to be passed.
Medienformen Media used	Tafel blackboard
Literatur Reading list	Ziegler, Mathematische Logik, Birkhäuser, 2010. Hils, Loeser, A first journey through logic, Student Mathematical Library 89, AMS, 2019.

	Ebbinghaus, Flum, Thomas, Mathematical Logic, Springer 1994 Ebbinghaus, Flum, Thomas, Einführung in die mathematische Logik, 2018 Shoenfield, Mathematical Logic, Addison-Wesley, 1967

6021	Mathematische Statistik	PN 451013
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Gilch	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 + 15 Std. Präsenz, 90 + 30 Std. Eigenarbeitszeit 45 + 15 hrs presence, 90 + 30 hrs self study	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, Einführung in die Stochastik Analysis I, Introduction to Stochastic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erhalten eine Einführung in die Mathematische Statistik. Dies beinhaltet die Vermittlung der grundlegenden Konzepte der Statistik. Die besprochenen Hauptschwerpunkte liegen hierbei in der Parameterschätzung sowie bei Hypothesentests. — The students shall get an introduction on the theory of mathematical statistics. They shall acquire the basic concepts of	

	statistics. The main topics include the estimation of parameters and testing of hypotheses.
Inhalt Course content	Parameterschätzung (Momenten-, ML-Schätzer), beste Schätzer, UMVU-Schätzer, Suffizienz, wichtige Statistik-Sätze (Rao-Blackwell, Lehmann-Scheffé, Cramér-Rao), exponentielle Familien, asymptotische Eigenschaften von Schätzern, Konsistenz, Konfidenzbereiche, ein-/ zweiseitige Hypothesentests, Unabhängigkeitstests, Lineare Modelle — Estimation of Parameters (moment and ML estimators), best estimators, UMVU estimators, sufficiency, important statistical theorems (Rao Blackwell, Lehmann-Scheffé, Cramér-Rao), exponential families, asymptotic properties of estimators, consistency, confidence intervals, one-/two-sided hypothesis tests, tests on independence, linear models
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Zwei Teilleistungen: Teilleistung 1 (80%): 120-minütige schriftliche Prüfung oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben. Teilleistung 2 (20%): Ausarbeitung (bis zu 10 Seiten) über ein zusätzliches Thema der Mathematischen Statistik. Zum Bestehen des Moduls müssen beide Teilleistungen bestanden werden. Examination in two parts: Part 1 (80%): 120 minutes written or 30 minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester. Part 2 (20%): Written work (up to 10 pages) on a subject from Mathematical Statistics. To pass the examination both parts have to be passed.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer Projector, blackboard
Literatur Reading list	Shao: „Mathematical Statistics“, 2nd edition. Springer, New York, 2007. Witting: „Mathematische Statistik I“. Teubner, Stuttgart, 1985.

6023	Model Theory	PN 482201
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes zweite oder dritte Semester Every second or every third semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kaiser, Müller	
Dozent(in) Lecturer	Kaiser, Müller	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 + 30 Std. Präsenz, 120 + 60 Std. Eigenarbeitszeit 60 + 30 hrs presence, 120 + 60 hrs self study	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Mathematischen Logik, Algebra. Es wird nur eine elementare Vertrautheit mit der Logik der ersten Stufe und algebraischen Grundbegriffen vorausgesetzt. Mathematical Logic, Algebra.Only some basic familiarity with first-order logic and elementary algebraic concepts is required.	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	• basic set theory and the arithmetic of infinite cardinals • classical techniques of model constructions and their analysis: ultraproducts, back and forth, diagrams, omitting and realizing types, quantifier elimination, homo-	

	geneity • semantic characterizations of syntactic formula classes • applications to algebraic theories
Inhalt Course content	The course offers an introduction to classical model theory. It develops a broad general toolkit to construct and analyze theories and their models. It gives special emphasis to applications and examples, especially from algebra. It starts with a crash course in set theory and infinite cardinal numbers, and continues with the theory of Boolean algebras, ultraproducts, the back and forth method, algebraic and elementary diagrams, realizing and omitting types, quantifier elimination, applications thereof to algebraically closed and real closed fields, and finally describes theories with exactly one countable model (up to isomorphism).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige schriftliche Prüfung oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Semesterbeginn bekannt gegeben. 120-minute examination or 30-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	W. Hodges: A shorter model theory. Cambridge University Press, 1997. D. Marker: Model Theory: An introduction. Springer, 2002. K. Tent, M. Ziegler: A course in Model Theory. Cambridge University Press, 2002.

6029 Numerik stochastischer Differentialgleichungen PN 451004 Numerical Methods for Stochastic Differential Equations	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Alle vier Semester Every fourth semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz, 60 Std. Übungsaufgaben, 60 Std. Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours, 60 hours excercises, 60 hours independent study and exam preparation
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I+II, Analysis I+II, Einführung in die Stochastik, Wahrscheinlichkeitstheorie, Stochastische Analysis Linear Algebra I+II, Analysis I+II, Introduction to Stochastics, Probability Theory, Stochastic Analysis
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Grundlegender Algorithmen zur Approximation von (Erwartungswerten von Funktionalen von) Lösungen stochastischer

	Differentialgleichungen, ihre theoretischen Eigenschaften und typische Anwendungen. — Knowledge of basic algorithms for approximation of (expectations of functionals of) solutions of stochastic differential equations, their theoretical properties and typical applications. Fähigkeiten / Abilities Auswahl geeigneter Approximationsalgorithmen für konkrete Fragestellungen, ihre effiziente Implementierung, die praktische Durchführung von entsprechenden Simulationsexperimenten und die Darstellung und Bewertung der Ergebnisse. — Ability to select appropriate approximation algorithms for specific questions, their efficient implementation, the practical implementation of relevant simulation experiments, and the presentation and evaluation of results.
Inhalt Course content	• Grundbegriffe der Approximation stochastischer Prozesse: Fehlerkriterien, Kostenmaße, minimale Fehler und Komplexität, Optimalität und asymptotische Optimalität. • Pfadweise Approximation der Lösung stochastischer Differentialgleichungen: zeitdiskrete Ito-Taylor Schemata, zeitkontinuierliche Verfahren, adaptive Schrittweitensteuerung. • Quadraturverfahren für stochastische Differentialgleichungen: Standard Monte-Carlo Verfahren, Multilevel-Verfahren, Anwendungen in der Finanzmathematik. — • Basic concepts of approximation of stochastic processes: error criteria, cost measures, minimal error, complexity, optimality and asymptotic optimality. • Pathwise approximation of solutions of stochastic differential equations: discrete-time Ito-Taylor schemes, continuous-time methods, adaptive time step control. • Quadrature of stochastic differential equations: Standard Monte Carlo methods, multilevel methods, applications in mathematical finance.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Abschlussklausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90 minute written or 20-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.

Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Overhead, Beamer slides, projector, blackboard
Literatur Reading list	Bekanntgabe durch Dozenten / Anouncement by lecturer

6034 Graphen- und Netzwerkalgorithmen Praktikum Graph and Network Algorithms Lab	PN 451005
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rutter
Dozent(in) Lecturer	Rutter
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	3Ü
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 135 Std.Vor- und Nachbereitung des Praktikums 45 contact hours + 135 hrs independent study, implementation and discussions with the teams
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Programmierkenntnisse in C oder Java Programming skills in C or Java
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Algorithmen und Datenstrukturen, Effiziente Algorithmen, Algorithmen zur Visualisierung von Graphen Algorithms and Data Structures, Efficient Algorithms, Algorithms for Visualizing Graphs
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden besitzen ein systematisches Verständnis der Entwurfs- und Analyseprinzipien eines komplexen Projekts im Bereich der Graph- und Netzwerkalgorithmen. Sie kennen ver-

	schiedene Ansätze zur Lösung von schweren Problemen (z.B. Approximationen, Heuristiken) und sind in der Lage zu einer Problemstellung geeignete Entwurf- und Analysetechniken auszuwählen. Sie können algorithmische Lösungen für unterschiedliche Teilaspekte von Problemstellungen miteinander kombinieren, sind in der Lage die Effizienz der resultierenden Lösungen zu analysieren, deren Leistungsfähigkeit zu evaluieren, und diese auf eine konkrete Anwendung anzupassen. — The students acquire a systematic understanding of the design and analysis principles for a complex project in the area of graph and network algorithms. They know different approaches for solving hard problems (e.g., approximations, heuristics) and they are able to choose suitable design and analysis techniques for a given problem. They are able to combine algorithmic solutions for different aspects of a problem and can analyze the efficiency of the resulting solutions. They further have the competence to evaluate the performance of their solutions and to further adapt their methods to concrete problems.
Inhalt Course content	Um schwierige Probleme in der Praxis zu lösen, ist es häufig nötig eine Vielzahl von unterschiedlichen Ansätzen miteinander zu kombinieren (z.B. Approximationen, parametrisierte Algorithmen, heuristische Verfahren) und zudem generische Verfahren möglichst gut auf die in der Praxis auftretenden Instanzen anzupassen um dort vorhandenen Strukturen auszunutzen. In dieser Veranstaltung wird dieses Vorgehen anhand von ausgewählten Problemstellungen aus dem Bereich der Graph- und Netzwerk-Algorithmen vermittelt und erprobt. Die konkreten Problemstellungen speisen sich aus Wettbewerben, die von führenden Algorithmen-Konferenzen järhlich veranstaltet werden, insbesondere der Graph Drawing contest (1), mit einem Hauptaugenmerk auf Fragestellungen in der Graphenvisualisierung, der Wettbewerb des Symposium on Computational Geometry (2), mit einem Schwerpunkt auf geometrischen Problemen und der Parameterized Algorithms and Computational Experiments Challenge (3), die einen Schwerpunkt auf parametrisierte Probleme legt. Ziel der Veranstaltung ist, dass die Studierenden in kleinen Teams Lösungen für Aufgaben aus diesen Wettbewerben entwickeln, und an mindestens einem der Wettbewerbe teilnehmen. — Solving hard problems in practice, often requires the combination of ideas from multiple approaches (e.g., approximations, parameterized algorithms, heuristic procedures). Moreo-

	ver, generic algorithms and approaches must often be adapted to practical instance to exploit structural patterns that are present in real-word inputs. In this course, students learn to follow this approach to solving problems in practice and apply it to problems in the area of graph and network algorithms. The specific problems stem from contests that are held annually by leading algorithms conferences. In particular from the Graph Drawing Contest [1], which has a focus on problems in graph visualization, the contest of the Symposium on Computational Geometry [2], which focuses on geometric problems, and the Parameterized Algorithms and Computational Experiments Challenge [3], which mostly deals with parameterized problems and algorithms. The goal of this course is that students develop solutions for problems from these contests and participate in at least one them. (1) `https://mozart.diei.unipg.it/gdcontest/` (2) `https://cgshop.ibr.cs.tu-bs.de/` (3) `https://pacechallenge.org/`
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung. Möglich sind folgende Bestandteile: • Projektbericht • Abschlussvortrag • Quellcode des umgesetzten Projekts • Ggf. Zwischenvorträge, Zwischenberichte Die genauen Bestandteile werden vom Dozenten zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Portfolio exam consisting of the following parts: • Project report • Final presentation • Source code of the project • Possibly intermediate presentations and reports The exact parts will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Giuseppe Di Battista, Peter Eades, Roberto Tamassia, Ioannis G. Tollis: Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs. Prentice-Hall 1999. Michael Kaufmann, Dorothea Wagner: Drawing Graphs, Methods and Models. Lecture Notes in Computer Science, Springer 2001. Roberto Tamassia: Handbook of Graph Drawing and Visualization, Chapman and Hall/CRC, 2013.

6037	Sicherheit von KI-Systemen Security of AI Systems	PN 451011
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga	
Dozent(in) Lecturer	Pöhls	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V	
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 60 Std. Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 30 contact hours + 60 hours independent study and exam preparation	
ECTS Credits	3	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Advanced IT Security, Privacy Enhancing Techniques, Advanced Topics in Data Science, Context Recognition Architectures	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erlangen Kenntnisse über: • IT-Sicherheitrisiken bei Konzeption und Einsatz von KI-Systemen (= IT-Systemen welche Funktionen mittels	

künstlicher Intelligenz bereitstellen);
- IT-Sicherheitsziele im Kontext von KI-Systemen;
- Modelle und Verfahren zur methodischen Analyse der IT-Sicherheit von KI-Systemen;
- Maßnahmen und Vorgehensweisen zur Erhöhung der IT-Sicherheit von KI-Systemen.

—

The students acquire skills about:
- IT Security risks during the design and operation of AI-systems (= IT-systems that include functionality based on artificial intelligence);
- IT Security goals in the context of AI-systems
- models and methods for the analysis of the IT Security of AI-systems
- mechanisms and steps to increase the security of AI-systems

Fähigkeiten / Abilities

Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, Techniken zur Bewertung der Sicherheit von Informationssystemen auf IT-Systeme anzuwenden und dabei insbesondere Bedrohungen zu berücksichtigen, welche daraus resultieren, dass Technologien aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz Bestandteil des IT-Systems sind. Sie erlernen die Anforderungen, welche an die IT-Sicherheit solcher KI-Systeme gestellt werden können, zu beschreiben.

—

The students acquire the skill to apply techniques for assessing the information security (including safety and privacy aspects) especially for IT-Systems that employ artificial intelligence technology as one of the system's component. This develops their ability to apply appropriate IT Security methodologies to find security, safety and privacy concerns of the AI-system itself and enables them to apply adapted IT Security methods to increase the security of the AI-system itself.

Kompetenzen / Competencies

Die Studierenden erlernen
- IT-Sicherheitsbedrohungen (Risiken) für Systeme mit künstlicher Intelligenz (KI-Systemen) zu identifizieren, zu analysieren und zu beurteilen;
- welche IT-Sicherheitsziele man für KI-Systeme ansetzen kann;
- wie klassische IT-Sicherheits Vorgehensweisen / Mechanismen nach einer Anpassung an die speziellen Risiken von KI-Systemen zur Verbesserung der IT-Sicherheit dieser Systeme beitragen.

	— The students learn • to identify, analyse and evaluate IT Security risks of AI-systems; • which security and safety protection should be required for AI-systems; • how to apply adapted security models and methods to increase the security of the IT system that contains AI components.
Inhalt Course content	Sicherheit von KI-Systemen untersucht wie man IT-Sicherheitsziele (Integrität, Vertraulichkeit, Verlässlichkeit und weitere) für den Entwurf und den Betrieb von IT-Systemen mit Funktionen aus der künstlichen Intelligenz (KI) definiert, analysiert und sicherstellt. Hierbei wird jeweils auf die verschiedenen KI-Lösungsverfahren (Stichworte: machine learning, symbolic/non-symbolic, neural-networks, deep-learning, unsupervised/supervised learning) eingegangen, um dann methodisch zu analysieren welche IT-Sicherheitsziele und –probleme hierbei bestehen und woher sie stammen (Stichworte: training, training data, input-privacy, confidentiality of the algorithm or trained network, adversarial learning). Für die identifizierten IT-Sicherheitsprobleme werden dann mögliche Lösungen diskutiert, welche die IT-Sicherheit des KI-Systems selbst erhöhen. Die folgenden Themen werden behandelt: • Definition der IT-Sicherheitsziele für KI-Systeme • Grundbegriffe der IT-Sicherheit (Confidentiality, Integrity, Availability, Reliability, Veracity, Input-Privacy, etc.) • Definition des Begriffes ‚KI-System' • Unterschiede bei KI-Systemen • Angriffsmodelle • mögliche Schwachstellen bei KI-Systemen • Fallbeispiele • Lösungen zur Erhöhung der IT-Sicherheit von KI-Systemen — Security of AI-systems examines how IT Security goals (including Safety and Privacy aspects), like Integrity, Confidentiality, Reliability, and others can be defined and used for the design and operation of secure IT-systems that employ artificial intelligence technology (AI-systems). We will discuss different artificial intelligence methods (keywords: machine learning, symbolic vs. non-symbolic, neural-networks, deep-learning, unsupervised/supervised learning) to analyse which IT Security problems could arise and where they originate from

	(keywords: training, training data, input-privacy, confidentiality of the algorithm or trained network, adversarial learning). For the problems identified the course will discuss potential solutions that increase the IT Security of the AI-system itself; i.e. the security target of the course is the IT-system that employs artificial intelligence functions, not using artificial intelligence as a tool for solving security problems. The following topics are discussed: • definition of IT Security goals for AI-systems • terms and definitions of fundamental information security concepts (confidentiality, integrity, availability, reliability, veracity, input-privacy, etc.) • definition of the term 'AI-system' • differences in AI-systems • attacker Modeling • potential IT Security problems of AI-systems • examples of problems • solutions to increase the IT Security of AI-systems
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute examination or oral examination (approx. 20 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer Blackboard, projector
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekannt gegeben Announced during the lecture

6039 Formal Methods in Security: Modelling and Analysis of Security-critical Systems	PN 451014
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Posegga
Dozent(in) Lecturer	Posegga
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	24 Std. Präsenz + 88 Std. Eigenarbeitszeit 24 contact hours + 88 hours self study
ECTS Credits	4
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Advanced IT-Security
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	System Security, Theoretische Informatik I System Security, Theoretical Computer Science I
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Teilnehmer lernen verschiedene Spezifikationsprachen kennen, in dem Sie Sicherheitsziele einerseits sowie Sicherheitsmechanismen anderseits formalisieren können. Die Sprachen basieren auf Temporale Logiken, Rewriting, Automaten Theorie, und Autorisierungslogiken. Die Liste der Sprachen und Mehoden beinhaltet: • ASLan++—a formal security specification language for

distributed systems
- hlpsl – A high level protocol specification language for industrial security-sensitive protocols
- CAPSL: Common Authentication Protocol Specification Language.
- Alice and Bob: Reconciling formal models and implementation
- hacspec: Towards Verifiable Crypto Standards

Die Studenten lernen die Syntax und Semantik der Spezifikationssprachen. Darüber hinaus lernen Sie, welche praktischen Tools in der Lage sind zu überprüfen, ob die vorgeschlagenen Mechanismen in einem bestimmten Systemdesign die erwarteten Sicherheitsrichtlinien implementieren. Sie können den geeigneten Ansatz für das Problem auswählen, die Richtlinien und das System in der entsprechenden Sprache angeben und die Tools anwenden, um die Richtigkeit der Sicherheitsmechanismen zu überprüfen. Die Theorie und Funktionsweise der Tools wird auch gelernt. Folgende Tools werden benutzt

- The AVISPA tool for the automated validation of internet security protocols and applications
- An on-the-fly model-checker for security protocol analysis
- OFMC: A symbolic model checker for security protocols
- Meta-F: Proof Automation with SMT, Tactics, and Metaprograms
- DKAL 2 - A Simplified and Improved Authorization Language

—

Students will learn various languages for specifying security policies together with security mechanisms. The specification languages are based on temporal logics, rewriting, automata theory, and Authorization logics. The languages to be learnt include:

- ASLan++—a formal security specification language for distributed systems
- hlpsl – A high level protocol specification language for industrial security-sensitive protocols
- CAPSL: Common Authentication Protocol Specification Language.
- Alice and Bob: Reconciling formal models and implementation
- hacspec: Towards Verifiable Crypto Standards

Besides understanding the syntax and semantics of the specification languages, the students will learn to use a set of tools for verifying that the proposed mechanisms in a given system

	design satisfy or enforce the expected security policies. They will be able to choose the appropriate approach for the problem, use the corresponding language to specify the policies and system and apply the tools to verify the correctness of the security mechanisms. The tools include: • The AVISPA tool for the automated validation of internet security protocols and applications • An on-the-fly model-checker for security protocol analysis • OFMC: A symbolic model checker for security protocols • Meta-F: Proof Automation with SMT, Tactics, and Metaprograms • DKAL 2 - A Simplified and Improved Authorization Language Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer beherrschen die Konzepte formaler Sicherheitsziele und -richtlinien und können Sicherheitsmechanismen oder -protokolle zur Durchsetzung der Eigenschaften in einem bestimmten System oder Szenario entwerfen und die Richtigkeit dieser Durchsetzung überprüfen. — Students master the concepts of formal security goals and policies and are able to design security mechanisms or protocols to enforce the properties in a given system or scenario and is able to verify the correctness of this enforcement. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben Kenntnisse über die Vielfalt der Sicherheitsrichtlinien und die Schwierigkeit, deren Richtigkeit zu überprüfen. Sie erkennen die Notwendigkeit der höheren Sicherheitsstufen und verstehen die aktuell gestiegenen Anforderungen an die Korrektheit der Sicherheit für moderne kritische Systeme, insbesondere in Bezug auf Sicherheit („übertragbare Beweise“) und Rechenschaft (Accountability, „faire Schuldzuweisungen“). — Students gain the knowledge about the diversity of security policies and the difficulty in verifying their correctness. You appreciate the importance of the higher security levels and understand the current increased demands on the correctness of security for modern critical systems, and, in particular, regarding assurance (“transferrable proofs”) and accountability (“fair blaming”).
Inhalt Course content	Formal correctness of security protocols Computer network security is increasingly important for critical infrastructures or business and financial applications. The course discusses

proofs of correctness of realistic (but simplified) security mechanisms and protocols in a formal but intuitive way.
1. Concrete Security Models and Policies: Bell-LaPadula/Biba, Information Flow, Type-Based Approach to Security, and others.
2. Logics for authentication and authorization (in several variations), and trust management.
3. Access Control and Information Flow: techniques to describe policies that specify who should have access to which resources, who may obtain information about what data or process, or who can influence them. Then we discuss techniques for ensuring that the information flow policies are enforced.
4. Cryptographic protocols (also called Security Protocols), such as SSL/TLS, SSH, Kerberos, IPsec, etc., which form the basis for secure communication and business processes, the intruder model. The course also discusses how the automated techniques for analyzing security protocols work.
5. Optionally, the course discusses the security, privacy, and fairness properties of deep learning methods, their susceptibility to adversarial manipulation, and techniques for making deep learning robust to adversarial manipulation. Another optional content is Proof-carrying code and proof-carrying authentication.
—
Formale Korrektheit von Sicherheitsprotokollen Die Sicherheit von Computernetzwerken wird für kritische Infrastrukturen oder Geschäfts- und Finanzanwendungen immer wichtiger. Der Kurs behandelt die Korrektheit von realistischen (aber vereinfachten) Sicherheitsmechanismen und -protokollen auf formale, aber intuitive Weise.
1. Konkrete Sicherheitsmodelle und -richtlinien: Bell-LaPadula / Biba, Informationsfluss, typbasierter Sicherheitsansatz und andere.
2. Logik für Authentifizierung und Autorisierung (in verschiedenen Varianten) und Vertrauensverwaltung.
3. Zugriffskontrolle und Informationsfluss: Techniken zur Beschreibung von Richtlinien, mit denen festgelegt wird, wer Zugriff auf welche Ressourcen haben soll, wer möglicherweise Informationen zu welchen Daten oder Prozessen erhält oder wer diese beeinflussen kann. Anschließend diskutieren wir Techniken, um sicherzustellen, dass die Richtlinien für den Informationsfluss durchgesetzt werden.
4. Kryptografische Protokolle (auch Sicherheitsprotokolle genannt) wie SSL / TLS, SSH, Kerberos, IPsec usw., die die

	Grundlage für sichere Kommunikations- und Geschäftsprozesse bilden, bilden das Eindringlingsmodell. Der Kurs beschreibt auch, wie die automatisierten Techniken zur Analyse von Sicherheitsprotokollen funktionieren. 5. Optional werden im Kurs die Sicherheits-, Datenschutz- und Fairness-Eigenschaften von Deep-Learning-Methoden, ihre Anfälligkeit für Manipulationen durch Gegner und Techniken erörtert, die Deep-Learning-Methoden widerstandsfähiger gegen Manipulationen durch Gegner machen. Ein weiterer optionaler Inhalt ist der Nachweiscode und die Nachweisauthentifizierung.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Projektarbeit, bestehend aus Source-Code (Aufwand: etwa 40 Stunden), schriftliche Ausarbeitung in Form eines technischen Berichts (around 20 pages) und Präsentation der Arbeit (etwa 30 Minuten). Aufgrund des Zeitaufwands für die Präsentationen ist die Anzahl von Studenten auf 20 beschränkt. Project work: Implementations (source code) for a programming project of about 40 hours processing time, technical report (around 20 pages) and presentation (about 30 minutes). Due to the time requirements for the student presentations, the number of students is restricted to 20 participants in the class.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	Matt Bishop: Computer Security, Pearson Education, 2019. Alfred J. Menezes, Paul C. van Oorschot, and Scott A. Vanstone: Handbook of Applied Cryptography, CRC Press, 1996 (available online). Colin Boyd and Anish Mathuria, Protocols for Authentication and Key Establishment, Springer, 2003. Giampaolo Bella, Formal Verification of Security Protocols, Springer, 2007. Peter Ryan, Steve Schneider, und M. H. Goldsmith: Modeling and Analysis of Security Protocols, Addison-Wesley, 2000. The AVISPA Project. Original Research Papers.

6040	Integraltransformationen Integral Transforms	PN 451007
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Forster-Heinlein	
Dozent(in) Lecturer	Fink	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II oder äquivalent Linear Algebra I + II, Analysis I + II or equivalent	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden und anwendungsrelevanten Konzepte und Techniken verschiedener Integraltransformationen in der Signalanalyse und wissen, welche Eigenschaften für die Anwendung wichtig sind und wie diese	

	hergeleitet werden. — The students know the basic and application.relevant concepts and techniques of various integral transforms in signal analysis and know which properties are important for the applications and how they are derived. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können Beweistechniken der Integraltransformationen nachvollziehen, sie auf verwandte Probleme aus Anwendungsfragen übertragen und zugehörige Algorithmen bewerten. — The students can comprehend proof techniques of integral transforms, apply them to related problems in applications and evaluate associated algorithms. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz, die Konzepte und Methoden hinter verschiedenen Integraltransformationen zu verstehen und geeignete Verfahren für Anwendungsprobleme auszuwählen und anzuwenden. — Students are able to comprehend the concepts behind various integral transforms and are capable of selecting and applying appropriate methods for application problems.
Inhalt Course content	Inhalt: • Fourier-Reihen • Fourier-Integrale • Diskrete und schnelle Fourier-Transformation • Kontinuierliche und diskrete Wavelet-Transformation • Kontinuierliche und diskrete Shearlet-Transformation — Content: • Fourier series • Fourier integrals • Discrete und fast Fourier transform • Continuous and discrete wavelet transform • Continuous and discrete shearlet transform
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Mündliche Prüfung (ca. 25 Minuten) Oral exam (about 25 minutes)
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Mark Cartwright. Fourier Methods for mathematicians, scientist and engineers, 1990.

	Dieter Müller-Wichards. Transformationen und Signale, 1999. Gitta Kutyniok, Demetrio Labate. Shearlets: Multiscale Analysis for Multivariate Data, 2012.

6044	Multimedia Retrieval	PN 455383
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Scherzinger	
Dozent(in) Lecturer	Skopal	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierkenntnisse, Grundlagen von Datenbanken- und Informationssystemen (DBIS I + II), Grundlagen der Programmierung Programming skills fundamentals of databases and information systems (DBIS I + II)	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Objectives The module introduces to models and techniques of multimedia retrieval.	

	Course Outcomes By the end of the course, students will be able to recognize many facets of content-based multimedia retrieval techniques. They also get a practical experience in a selected subdomain by means of student project. Knowledge & Understanding General knowledge of content-based multimedia retrieval. Detailed pipeline – use case, domain knowledge, feature extraction, retrieval model, indexing, visualization, user feedback, evaluation. Skills & Abilities a) Navigate in different platforms, interfaces, HCI means and use cases for multimedia retrieval. b) Choose a suitable model for the media type and domain; c) Formulate search intent (query, browsing, filtering); d) Use suitable indexing structures for efficient retrieval.
Inhalt Course content	1) Web platforms for retrieval and sharing of multimedia content. 2) Web interfaces, modalities, and the quality of retrieval. 3) Text-based and bag-of-words models. 4) Similarity search model - models and queries. 5) Similarity search model - popular similarity functions. 6) Global image features - analytic models. 7) Global image features - deep learning. 8) Local image features. 9) Multi-modal retrieval. 10) Video retrieval techniques. 11) Feature extraction from audio, music and melody. 12) Principles of metric indexing. 13) Metric access methods. 14) Approximate search methods.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Report and presentation at defence of an individual software project. Grade will be based on this individual project.
Medienformen Media used	The course consists of a series of lectures, interleaved with consultations to student projects. The lectures span a variety of multimedia retrieval topics, while the projects aim to focus students more deeply to a particular topic by means of a hands-on experience (project implementation). Slides (PDF), videos recorded for offline use.
Literatur Reading list	Ricardo Baeza-Yates, Berthier Ribeiro-Neto, Modern Information Retrieval: The Concepts and Technology behind Search, Addison-Wesley Professional, 2011. Nicolas Hervé, Nozha Boujemaa: "Image annotation: which

	approach for realistic databases?", ACM International Conference on Image and Video Retrieval, 2007. B. S. Manjunath, Philippe Salembier, Thomas Sikora, Introduction to MPEG-7: Multimedia Content Description Interface, Wiley, 2002. Ritendra Datta, Dhiraj Joshi, Jia Li, James Z. Wang, Ïmage Retrieval: Ideas, Influences, and Trends of the New Age!, ACM Computing Surveys 40: 1, 2008. K. Selçuk Candan, Maria Luisa Sapino, Data Management for Multimedia Retrieval, Cambridge University Press, 2010. Zezula, P, Amato, G., Dohnal, V., Batko, M. "Similarity Search: The Metric Space Approach". Springer, 2005. ISBN 0387291466.

6047	Digital Healthcare	PN 455409
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Jahr Every year	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kranz	
Dozent(in) Lecturer	Kranz	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Erfolgreiche Absolvierung der Module „Mobile Human-Computer Interaction“ oder “Grundlagen der Mensch-Maschine Interaktion”, Kenntnisse in Python	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen die grundlegenden Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge kennen, um Daten im Bereich Digital Health zu erfassen, zu verarbeiten und zu bewerten unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen an Sicherheit	

	und Vertraulichkeit die an personen- und gesundheitsbezogenen sensiblen Daten gestellt werden. Die Studierenden kennen den grundlegend Entwicklungsstand im Bereich Digitalisierung im Gesundheitswesen. An Hand von Beispielbereichen wie Rettungsdienst und persönlichen Gesundheit wird dieser exemplarisch vermittelt und vertieft. Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Strukturen und Formate, in denen Gesundheitsdaten vorliegen können, sowie die zugehörigen rechtlichen Rahmenbedingungen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden können bestehende Lösungen im Bereich Digital Healthcare grundlegend bewerten und analysieren. Sie können Prototypen für mögliche Anwendungen und Systeme entwerfen und beschreiben und grundlegend mit Hilfe von geeigneten Prototyping-Werkzeugen beschreiben. Die hierfür notwendigen Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeuge, zum Beispiel zur Entwicklung von „Gesundheits-Apps“, werden beherrscht und können von den Studierenden eingesetzt werden. Die Studierenden besitzen die Kompetenzen zur Konzipierung, Durchführung und Evaluation von Studien, und können bestehende Studienergebnisse grundlegend bewerten. Grundlegende sicherheitstechnische, rechtliche und ethische Aspekte bei der Umsetzung von Projekten im Bereich des Digital Healthcare sind den Studierenden bekannt und im Rahmen von Entwicklungstätigkeiten beachtet und die verschiedenen Phasen integriert.
Inhalt Course content	Allgemeiner Hintergrund und soziokulturelle Aspekte: • Historische Entwicklung zu Evidence Based Care • Demokratisierung der Gesundheit/Gesundheitsvorsorge • Risiken und Chancen von Digital Healthcare Gesundheitsdaten (Theorie) • Big Data • Productivity Paradox • Change-Management Gesundheitsdaten (Praxis) • Analyse eines Herz-EKG • Vorverarbeitung (z.B. SAX) • Statistische Auswertung (z.B. Student-T, Chi-Square) • Anomalie-Erkennung • Visualisierung Studien • Rechtliche Rahmenbedingungen (z.B. informed consent) • Ethikanträge • Design

	• Durchführung • Auswertung Sicherheit • Safety vs. Security • Advanced Persistent Threats im medizinischen Sektor • Phishing, Spearphishing, Ransomware • Schutzvorkehrungen (z.B. AES) Elektronische Patientenakten und Privatsphäre • Aufbau einer EPA • Datenquellen (z.B. Smartphones, Tracker, Genetische Datenbanken) • Gefährdung durch Daten (gläserner Patient) Rechtliches • Digitale-Versorgung-Gesetz • Medizinproduktgesetz • UMDNS, EDMS, GMDN Hardware • Medical Devices • Zertifizierung von Medizinprodukten Software • Anwendungsbereiche von Medizinsoftware • Guidelines für Gesundheitsapps • Konzeption einer App Praktische Anwendung der Inhalte in den Präsenzübungen und sowie selbständige Vertiefung durch Bearbeitung der Übungsaufgaben
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten) oder Portfolio-Prüfung; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (60 minutes) or oral exam (about 20 minutes) or portfolio exam; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Tafelanschrieb, Gruppenarbeit Presentation with a projector, blackboard, working in a group
Literatur Reading list	Wird vom Dozent / von der Dozentin bekannt gegeben

6053	ITS-Praktikum ITS Practical	PN 405235
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer, Forster-Heinlein, Wirth	
Dozent(in) Lecturer	Sauer, Forster-Heinlein, Wirth	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	6S Participation by all group members is required for group meetings, colloquies with the project's supervisor(s), and specific lab work according to the project requirements	
Arbeitsaufwand Workload	30 hours introduction to design and development tools + 30 hours project meetings + 30 hours analysis and specification + 90 hours design and implementation + 45 hours validation + 15 hours colloquium and preparation + 15 hours final presentations and preparation + 15 hours written report Total: 270 hours	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Machine learning and context recognition	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse	Kenntnisse / Skills/Knowledge	

Learning outcomes	Students familiarise and practice project management skills. Students learn about methodologies relevant to the field of intelligent technical systems, as well as procedures, tools, and evaluation strategies. Knowledge on fundamental and applied aspects of intelligent technical systems, including system design, software development, and signal analysis are extended. Students continue to acquire experience in team work. Kompetenzen / Competencies Students master practical problem settings in the development of intelligent technical systems. Students can continue to acquire specific skills in design and analysis of solutions that are relevant to the broader field of the project. Project management strategies under limited time constraints can be successfully applied and effective solutions are found. Social competences are deepened, including team management and conflict resolution skills.
Inhalt Course content	A realistic, advanced engineering project within the scope of intelligent technical systems will be systematically analysed and implemented. The project objective may be to develop a system or service. State-of-the-art methods and tools will be utilised according to scientific and/or industrial practice and according to the requirements of the project. Due to the diversity of the field of intelligent technical systems, methods and tools will be chosen specifically for each project. A project may contain several workpackages. The project shall be realised by groups of 2-4 students. Project management and technical realisation will be carried out by the student group. Work effort and relevance of individual activities depend on the specific project setting. Initially, a requirement analysis shall be performed and the project shall be structured into workpackages. Each workpackage shall consist of several activities for which effort estimations are made. Adequate deliverables and milestones shall be described for each workpackage. The student group shall use a suitable development process, e.g. V-model. The following phases shall be identified for each workpackage: **1. Analysis** Analysis and detailed description of requirements, considering fundamental principles of effectiveness, completeness, and consistency. Both, functional and non-functional requirements shall be derived. A system or service model shall be devised and a suitable operating environment defined using adequate methods and tools. **2. Design**

	A coarse design of the system or service shall be derived that addresses all requirements derived before. Based on the coarse design, a detailed design specification will be derived. Suitable methods and tools according to the project field shall be used. Used procedures shall be documented. **3. Implementation** The actual implementation considers the practical realisation of the specified system or service, which may consist of software and hardware components. By partitioning large implementations into sub-activities, entities are obtained that group members can complete. **4. Validation** The implementation shall be validated based on the specified requirements. Achieved functional and non-functional requirements shall be compared to the implementation and any deviations shall be analysed and documented. A detailed documentation of the implementation shall be prepared. During the workpackage realisation, effort shall be continuously monitored and deviations recorded. Each workpackage is concluded by a colloquium, where achievements are presented and discussed with the project's supervisor(s). The student group shall prepare a presentation of the work for the colloquium and provide relevant work artefacts, e.g. documented and operational source code, prototypes, etc. The student group shall organise responsibilities within the project tasks themselves. However each group member shall take the role of a workpackage responsible at least once. The workpackage responsible shall assign tasks to all group members and monitor the workpackage implementation. The student group will be supported by regular meetings with the project's superior(s). The frequency of meetings may vary and shall be chosen adequately to the project phase.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Final technical report (about 25 pages) describing the work performed, including chapters on: introduction/problem(s) addressed, state-of-the-art/related work, system architecture/overall methodology, system implementation, evaluation methodology, results, discussion, and conclusion/further work. The final report should be supplied with adequate deliverables according to the project workpackages and to fully reproduce all performed work, e.g. documented and operational source code, design documents, physical prototypes, or demonstration files. The final presentation (about 20 min talk) should clearly describe the problem addressed, the approach and methodology, the results, and further work. If applicable, a system demons-

	tration should also be included in the final presentation. The presentations may be held together with other groups to support discussions.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer, Gruppenarbeit, Wiki Presentations with projector, group work, wiki
Literatur Reading list	Will be announced in the lecture. Literature will be selected and announced according to the requirements of individual projects.

6056	Perkolation auf Graphen	PN 451018
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach	
Dozent(in) Lecturer	Gilch	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“, Modulgruppe „ITS“ Focus „AlgMath“, Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	30 + 15 Stunden, 60 + 45 Eigenarbeitszeit 30 + 15 hours, 60 + 45 hours exercises and independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, Lineare Algebra I, Einführung in die Stochastik Analysis I, Linear Algebra I, Introduction to Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik Bachelor Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Theorie von Perkolation auf Graphen. Dies beinhaltet die Vermittlung der grundlegenden Konzepte der Perkolationstheorie sowie die fundamentalen Ergebnisse auf dem Zahlengitter und quasi-transitiven Graphen. Den Studierenden wird das Zusammenspiel verschiedener mathematischer Bereiche (insbesondere der Wahrscheinlichkeitstheorie, Graphentheorie und Alge-	

	bra) demonstriert. The students shall get an overview on the theory of percolation on graphs. They shall acquire the basic concepts of percolation theory including the fundamental results of percolation on the integer lattice and on quasi-transitive graphs. Furthermore, the interplay of different mathematical fields (in particular, Probability Theory, Graph Theory, and Algebra) will be demonstrated.
Inhalt Course content	• Grundlagen der Perkolationstheorie • Studium der kritischen Perkolationswahrscheinlichkeit • Abschätzungen für kritische Wahrscheinlichkeiten • Erwartete Cluster-Größen • Perkolation auf dem d-dimensionalen Zahlengitter • Anzahl der unendlichen Cluster • Perkolation auf quasi-transitiven Graphen — • Basics of percolation theory • Study of the critical percolation probability • Estimates for the critical probabilities • Expected cluster size • Percolation on the d-dimensional interger lattice • Number of infinite clusters • Percolation on quasi-transitive graphs
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minütige schriftliche Prüfung oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben 90 minute written or 30 minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel, Beamer Blackboard, Beamer
Literatur Reading list	G. Grimmett: „Percolation“, Springer, 1999 R. Lyons and Y. Peres: „Probability on Trees and Networks“, Cambridge, 2016

6060	Computational Social Science Lab	PN 455391
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Lemmerich	
Dozent(in) Lecturer	Lemmerich	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	4Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbearbeitung 60 contact hours + 120 hrs independent study and implementation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Python Programming Language, knowledge of basic data analysis as taught in Web Science, Visual Analytics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students will learn about state-of-the-art problems, methods and tools to study digital trace data on individuals and the society. Fähigkeiten / Abilities Students acquire the ability to develop and formulate research questions in Computational Social Science, explore respective	

	datasets, apply data science and machine learning methods and communicate results. Students will be able to select and apply suitable software libraries for these steps. Kompetenzen / Competencies Students will learn to perform independent case studies on societal and behavioral data.
Inhalt Course content	Computational Social Science refers to a relatively new research area that aims to study social phenonema with computational means, primarily with methods from Data Science and Machine Learning. In this practical course, students will work in small teams on "social" datasets on individuals and the society such as review data, forums, social media posts, social network data or collections of new articles. On these datasets, student groups will perform in teams and under guidance all necessary steps for a case study in computational social sciences: 1. Data collection, exploration and quality assessment of the dataset to be analyzed 2. Formation of an appropriate research question 3. Selection of appropriate analysis methods 4. Data (pre-)processing and modelling 5. Critical assessment of the obtained insights 6. Communication of the results with a blog post and/or a scientific report Results of the individual steps will be presented to the other course participants in small presentations throughout the semester. At the end of the semester, project results will be summarized in final presentations and a written report.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio exam consisting of code with documentation, a written report on the outcome of the project (max. 10 pages) and presentations given over the course of the semester. Within the team presentations, each participant showcases her/his own personal contribution to the project. Additionally, participants declare in written form their individual contributions to the project design, code and report. Details on the assessment including count and length of the presentations will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer, Whiteboard Presentation with beamer, whiteboard
Literatur Reading list	Lazer, David, et al. Life in the network: the coming age of computational social science. Science (New York, NY) 323.5915 (2009): 721. Additional project specific literature will be announced at the

	beginning of the semester.

6061	Introduction to Deep Learning	PN 471616
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Hinweis: Das Modul ersetzt das alte Modul Deep Learning - keine Doppelanrechung möglich! Irregular Notice: Replacing Deep Learning, cannot be credited twice.	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Lemmerich	
Dozent(in) Lecturer	Lemmerich	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“, Modulgruppe „ITS“ Focus „InfKomm“, Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbearbeitung des Praktikums 60 contact hours + 120 hrs independent study and implementation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Advanced Topics in Data Science oder Introduction to AI Engineering, Grundkenntnisse in Python Advanced Topics in Data Science or Introduction to AI Engineering, Python Programming Language	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse	Kenntnisse / Skills/Knowledge	

Learning outcomes	Students will get to know about fundamentals of artificial neural networks, gain an overview on standard algorithms in the field as well as examples of recently proposed state-of-the-art techniques. Furthermore, students will get to know some standard tools to develop and apply deep learning techniques to machine learning problems. Fähigkeiten / Abilities The students will be able to implement deep learning approaches to practical machine learning problems. They obtain the ability to choose and improve neural network architectures suitable for specific machine learning tasks. Kompetenzen / Competencies Students will strengthen their competence to analyze and assess algorithms for machine learning. Participants will learn to develop problem-oriented solutions with deep learning approaches independently.
Inhalt Course content	The course will give an overview on the fundamentals and current approaches for deep learning and its main applications fields. In particular, it will cover: • Basics of Representation Learning • Perceptron Learning • Feedforward Neural Networks • Gradient Descent and Backpropagation • Regularization in Deep Learning • Convolutional Neural Networks • Recurrent Neural Networks • Autoencoders • Adversarial Training • Graph Neural Networks • Applications of Deep Learning for Text, Sequences, and Images • Explainability and Deep Learning
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minutes written or 20 minutes oral exam depending on the number of participants. The students will be informed about the exact type of exam by the beginning of the semester
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer, Whiteboard Presentation with beamer, whiteboard
Literatur Reading list	Goodfellow, Ian, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning. MIT press, 2016 Aggarwal, Charu C.: Neural networks and deep learning. Springer 10 (2018): 978-3 Additional literature will be announced at the beginning of the

	semester.

6063	Applied Artificial Intelligence Lab	PN 471615
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Lemmerich	
Dozent(in) Lecturer	Lemmerich	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“, Modulgruppe „ITS“ Focus „InfKomm“, Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbearbeitung des Praktikums 60 contact hours + 120 hrs independent study and implementation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Python Programming Language Advanced Topics in Data Science or Introduction to AI Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students will learn about standard tools and techniques to engineer solutions to realistic problem settings in the field of artificial intelligence, in particular machine learning. Students will also learn about state-of-the-art approaches for their par-	

	ticular topic. Fähigkeiten / Abilities Students will obtain the ability to systematically assess and analyze a problem setting, identify relevant approaches from literature, develop and implement solutions with suitable tools and frameworks, and engineer and/or combine different approaches to obtain the best possible results. Kompetenzen / Competencies Students will strengthen their competence in analyzing and assessing algorithms for machine learning. Participants will learn to plan projects, implement solutions, meet milestones, and communicate results.
Inhalt Course content	Artificial Intelligence, in particular machine learning, is more and more applied in a wide range of real-world settings. In this application-focused course, students will work in small teams to engineer AI solutions to given practical scenarios. Each team will be provided a specific problem setting, e.g. from scientific challenges like the KDD Cup or a Kaggle competition. Typically, such a setting consists of a dataset, a specific task (e.g., a prediction or recommendation task), and an evaluation measure for obtained results. Under guidance, each team will then perform the necessary steps to develop and optimize their solution, generally including: • Data understanding and exploration • Data Preprocessing • Feature selection and engineering • Model validation • Hyperparameter optimization • Ensembling Results of the individual teams will be presented in the course by each team to the other course participants in small presentations and summarized in a project report.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio exam based on the suitability, implementation and refinement of the chosen methods, the achieved results, and communication/presentation of the project. Given minimum requirements, presentational aspects should influence the grade by no more than 30%. Potential elements of the portfolio are: Code with documentation, a written report on the outcome of the project (max. 8 pages), presentations given over the course of the semester and a final examination conversation (max. 10 minutes) with each individual participant. Within the team presentations, each participant showcases her/his own personal contribution to the project. Additionally,

	participants declare in written form their individual contributions to the project design, code and report. Details on the assessment including count and length of the presentations will be announced at the beginning of the course.
Medienformen Media used	Präsentation mit Projektor, Whiteboard Presentation with projector, whiteboard
Literatur Reading list	Specific literature for each topic will be announced at the beginning of the semester.

6064	Responsible Machine Learning	PN 471617
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Lemmerich	
Dozent(in) Lecturer	Lemmerich	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbearbeitung 60 contact hours + 120 h independent study and implementation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Advanced Topics in Data Science und/oder Introduction to AI Engineering, Programmierkenntnisse in Python Advanced Topics in Data Science and/or Introduction to AI Engineering, Python Programming Language	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students will get to know about the main aspects of applying machine learning responsibly in sensitive settings, e.g., when working with behavioral data. This covers the problem settings, challenges, and main algorithmic approaches for ex-	

	plainable, fair, privacy-aware, and reliable machine learning. Fähigkeiten / Abilities The students will be able to identify potential issues of machine learning and artificial intelligence applications and apply appropriate measures to address them. Students will improve their ability to assess, select and implement solutions for machine learning tasks, specifically when working with data from or about human behavior. Kompetenzen / Competencies Students will strengthen their awareness with respect to algorithmic transparency, fairness, privacy, and reliability. They will improve their competence to critically assess artificial intelligence approaches with sensitive data. Participants will learn to develop problem-oriented machine learning solutions for sensitive data independently.
Inhalt Course content	The course will give an overview on the main challenges and current approaches for responsible machine learning. This module will focus on explainable and interpretable approaches to machine learning, specifically for classification. It will discuss the relevancy of interpretability and will introduce white-box learning algorithms (e.g., decision tree learning, rule-based classification and simple regression models) and methods to explain black-box solutions (e.g., LIME, counterfactual explanations). The course will also cover the challenges of biases and fairness in machine learning, and will cover how these can be measured at an individual or at a group level. Students will also get to know about algorithms to counteract such biases with pre-, in-, or post-processing methods. In addition, the course will also provide an overview and introduce key approaches of privacy-aware machine learning, and reproducibility issues in machine learning.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Abschlussklausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung abhängig von der Anzahl der Teilnehmer. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or 20-minute oral examination depending on the number of participants. The students will be informed about the exact type of exam by the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation projector, whiteboard
Literatur Reading list	Molnar, Christoph: Interpretable machine learning, 2nd edition, 2020. Online book available at `https://christophm.`

	github.io/interpretable-ml-book/. Solon Barocas, Moritz Hardt, Arvind Narayanan: Fairness and Machine learning - Limitations and Opportunities, 2017. Online book available at https://fairmlbook.org/pdf/fairmlbook.pdf Additional literature can be announced at the beginning of the semester.

6070	Markov Chain Monte Carlo	PN 455450
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rudolf	
Dozent(in) Lecturer	Rudolf	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Funktionalanalysis, Wahrscheinlichkeitstheorie, Einführung in die Stochastik, Maß- und Integrationstheorie Functional Analysis, Probability Theory, Introduction to Stochastics, Measure and Integration Theory	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erwerben vertiefende Kenntnisse bzgl. der Theorie von Markovketten auf allgemeinen Zustandsräumen. Sie kennen und verstehen verschiedene Algorithmen zum approximativen Simulieren von Verteilungen basierend auf Mar-	

	kovketten (z.B. Slice Sampling Metropolis-Hastings, Hit-and-run). Darüber hinaus erlangen die Studierenden vertiefendes Wissen über Beweistechniken zum Verifizieren der Konvergenz von Markovketten und sind in der Lage diese Methoden anzuwenden. — The students acquire a systematic understanding of the theory of Markov chains on general state spaces. They know and understand advanced algorithms for approximate sampling based on Markov chains (e.g. slice sampling, Metropolis-Hastings, Hit-and-run). Beyond that the students obtain deep knowledge about proof techniques to verify convergence results for Markov chains and are able to apply this methodology.
Inhalt Course content	• Motivation zum approximativen Sampling • Theorie von Markovketten • Verschiedene algorithmische Verfahren (z.B. Slice Sampling, Metropolis-Hastings, Hit-and-run) • Wasserstein-Abstand • Ergodensätze — • Motivation of approximate sampling • Theory of Markov chains • Different algorthmic approaches (e.g. Slice Sampling, Metropolis-Hastings, Hit-and-Run) • Wasserstein distance • Ergodic theorems
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Entweder 90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Either written exam (90 minutes) or oral exam (about 30 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und/oder Beamer Presentation with a projector or blackboard
Literatur Reading list	R. Douc, E. Moulines, P. Priouret, P. Soulier, Markov Chains, Springer, 2018 A. Klenke, Probability theory: A Comprehensive Course, Springer, 2014

6072	Foundations of Statistical Data Science	PN 482522
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rudolf	
Dozent(in) Lecturer	Rudolf	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Wahrscheinlichkeitstheorie, Einführung in die Stochastik, Maß- und Integrationstheorie, Lineare Algebra I+II, Analysis I+II Probability theory, Introduction to stochastics, Measure and integration theory, Linear Algebra I+II, Analysis I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erwerben Kenntnisse bzgl. der mathematischen Modellierung von Daten und deren statistischer Behandlung. Sie kennen und verstehen verschiedene Methoden	

	zur Datenanalyse (z.B. Schätzmethoden, Regression, grafische Methoden). Darüber hinaus erlangen die Studierenden vertieftes Wissen über Beweistechniken in der Mathematischen Statistik, z.B. zum Verifizieren von Aussagen über die Güte von Schätzern und deren asymptotischen Eigenschaften. — The students acquire a systematic understanding of the theory of modeling data and their statistical treatment. They know and understand different methodology for the analysis of data (e.g. estimation methods, regression, graphical methods). Beyond that the students obtain deep knowledge about proof techniques in mathematical statistics, e.g., to verify statements about the quality of estimators and their asymptotic properties.
Inhalt Course content	Grundkonzepte der statistischen Datenanalyse u.a.: • Elementare statistische Modelle • Statistische Grundlagen • Grafische Methoden • Deskriptive Größen • Schätzmethoden • EM-Algorithmen und/oder stochastisches Gradientenverfahren • Regression • Hidden Markov Modelle • Bayessche Inferenz — Basic concepts of statistical data analysis, inter alia: • Elementary statistical models • Statistical objects • Graphical methods • Descriptive quantities • Estimation methods • EM algorithm and/or Stochastic gradient descent • Hidden Markov models • Bayesian inference
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Entweder 90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Either written exam (90 minutes) or oral exam (about 30 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und/oder Beamer und/oder andere virtuelle Formate

	Presentation with a projector or blackboard or other virtual formats
Literatur Reading list	J. Berger, Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis, Springer, 1993. P. Billingsley, Convergence of probability measures, Wiley Series in probability and Mathematical Statistics, 1999. R. van Handel, Hidden Markov models, Unpublished lecture notes (2008). A. Klenke, Probability theory: A Comprehensive Course, Springer, 2014. V. Panaretos, Statistics for mathematicians, Springer, 2016. S. Shalev-Shwartz and S. Ben-David, Shai, Understanding machine learning, Cambridge University Press, 2014.

6073	Stochastische Prozesse Stochastic Processes	PN 405193
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rudolf	
Dozent(in) Lecturer	Rudolf	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Wahrscheinlichkeitstheorie, Einführung in die Stochastik, Maß- und Integrationstheorie, Lineare Algebra I+II, Analysis I+II Probability theory, Introduction to stochastics, Measure and integration theory, Linear Algebra I+II, Analysis I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik Bachelor Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden lernen grundlegende stochastische Prozesse, deren Eigenschaften, Modellierungsaspekte sowie deren ver-	

	schiedene Verhalten kennen. Sie sind in der Lage diese Prozesse einzuordnen, mit ihnen umfassend theoretisch zu arbeiten sowie Aussagen über deren Charakteristika zu beweisen. — The students acquire a systematic understanding of the theory of stochastic processes, their properties and modeling aspects as well as their different behaviors. They are able to classfiy the processes, can work with them theoretically and can formulate as well as prove statements about their characteristics.
Inhalt Course content	Folgenden Inhalte werden besprochen: • Poisson Prozesse • Martingale (zeitdiskret und/oder zeitkontinuierlich) • Markov Prozesse (Brownsche Bewegung und/oder Markovketten auf allgemeinen Zustandsräumen) • Stoppzeiten und starke Markoveigenschaft • Simulationsalgorithmen mit Konvergenzeigenschaften — The following content will be covered: • Poisson processes • Martingales (time-discrete and/or time-continuous) • Markov processes (Brownian motion and/or Markov chains on continuous state spaces) • stopping times and strong Markov property • simulation of processes with convergence properties
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Entweder 90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Either written exam (90 minutes) or oral exam (about 30 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und/oder Beamer und/oder andere virtuelle Formate Presentation with a projector or blackboard or other virtual formats
Literatur Reading list	D. Meintrup, S. Schäffler, Stochastik, Springer, 2005. A. Klenke, Probability theory: A Comprehensive Course, Springer, 2014. R. Douc, E. Moulines, P. Priouret, P. Soulier, Markov chains, Springer 2018

6075	Statistical Learning Theory	PN 465520
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Rudolf	
Dozent(in) Lecturer	Hasenpflug	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 55 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Wahrscheinlichkeitstheorie, Einführung in die Stochastik, Maß- und Integrationstheorie, Lineare Algebra I+II, Analysis I+II Probability theory, Introduction to stochastics, Measure and integration theory, Linear Algebra I+II, Analysis I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering, Bachelor Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erwerben Kenntnisse bzgl. der statistischen Lerntheorie als Grundbaustein des Maschinellen Lernens. Dabei können Sie die einschlägigen Begriffe (z.B. empirisches	

	Risiko, supervised und unsupervised learning, VC-Dimension, etc.) verwenden um Aussagen zu reproduzieren und selbst zu formulieren. — The students acquire knowledge of statistical learning theory as a fundamental component of machine learning. They are able to use relevant terms (e.g., empirical risk, supervised and unsupervised learning, VC dimension, etc.) to reproduce and formulate statements on their own.
Inhalt Course content	Inhalt: • empirische Risikominimierung • Lernmodelle • Lernen mittels uniformer Konvergenz • Fehlerzerlegung • VC-Dimension • Nichtuniformes Lernen • Laufzeit vom Lernen • Lineare Vorhersagen • Stochastisches Gradientenverfahren — Content: • Empirical risk minimization • Learning models • Learning via uniform convergence • Error decomposition • VC-dimension • Nonuniform learning • Linear predictors • Stochastic gradient descent
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Entweder 90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Either written exam (90 minutes) or oral exam (about 30 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und/oder Beamer und/oder andere virtuelle Formate Presentation with a projector or blackboard or other virtual formats
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten oder der Dozentin bekannt gegeben. Announced by the lecturer.

6080	Computational Linguistics	PN 455396
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hautli-Janisz	
Dozent(in) Lecturer	Hautli-Janisz	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“, Modulgruppe „ITS“ Focus „InfKomm“, Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Information Retrieval and Natural Language Processing, Data Science oder Data Mining and Machine Learning	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students gain an overview of the main concepts, research questions and methodological frameworks in computational linguistics. The course covers the areas of phonetics, morphology, syntax, semantics and pragmatics and presents the core methods and challenges for language processing in the-	

	se subfields of CL. Students also gain insights into a number of current topics in applied computational linguistics, such as Machine Translation, Question Answering, Chatbots & Dialogue Systems and Search. Fähigkeiten / Abilities Successful candidates understand the general challenges that language poses for automatic processing. Based on their knowledge across subfields of CL, they can discuss the ways in which linguistic information can be encoded for computational modeling and they can also identify those methods that are most appropriate for processing it. For those areas of applied computational linguistics that are covered in the course, students understand the standard approaches, challenges and limitations of the state of the art. Kompetenzen / Competencies Successful candidates can transfer their knowledge in computational linguistic modeling to different settings, languages and research questions. They are able to reflect on everyday computational linguistic applications like virtual assistants and machine translation systems. They can also provide a preliminary judgement as to what extent particular applications require more in-depth computational linguistic modeling.
Inhalt Course content	Computational linguistics (CL) is the scientific and engineering discipline concerned with understanding written and spoken language from a computational perspective, and building systems that usefully process and produce language (`https://plato.stanford.edu/entries/computational-linguistics/`). It is one of the central components of everyday technology, from web search to machine translation. In this course we will cover the main concepts, research questions and methodological frameworks in the area. Topics include: • Phonetics and Speech Signal Processing • Syntactic Parsing • Computational Semantics • Computational Lexical Semantics • Computational Pragmatics • Corpora and Annotation • Lexical Resources • Classification and Clustering • Statistical Tests and Evaluation • Machine Translation • Question Answering • Chatbots & Dialogue Systems

Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90min Klausur 90min written exam
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer Presentation with projector
Literatur Reading list	Speech and Language Processing. 2022. Dan Jurafsky and James Martin, 3rd ed. draft online (`https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/`) The Handbook of Computational Linguistics and Natural Language Processing. 2010. Alexander Clark et al. (editors). Blackwell Publishing Ltd (`https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444324044`) Foundations of Statistical Natural Language Processing. 1999. Chris Manning and Hinrich Schütze. MIT Press (`https://nlp.stanford.edu/fsnlp/`) For more advanced literature, see lecture slides.

6089	Computational Linguistics Shared Task Lab	PN 472810
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hautli-Janisz	
Dozent(in) Lecturer	Hautli-Janisz	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“, Modulgruppe „ITS“ Focus „InfKomm“, Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbearbeitung des Praktikums 60 contact hours + 120 h self-study and implementation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Computational Linguistics, Python Programming Language, and Advanced Topics in Data Science or Introduction to AI Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students learn about standard methods and procedures to solve a task in the field of Computational Linguistics (CL). They know about the relevant publication venues of the state of the art and can identify related work, similar challenges and	

	relevant solutions. Fähigkeiten / Abilities Students understand the challenges that language poses for automatic processing. Based on the shared task description, they are able to break down the task into sensible work packages. Based on their knowledge across the linguistic subfields of CL, they identify the best processing method for each work package and rigorously evaluate their solution based on the shared task criteria to measure their overall performance. Kompetenzen / Competencies Students are able to solve a complex problem in the form of a current CL shared task. The students can reflect on the method and model choices and present their solution in a concise and coherent way.
Inhalt Course content	The Computational linguistics (CL) Lab complements the Computational Linguistics module and offers students the opportunity to develop their own solutions for processing natural language based on current shared tasks in the field. — Participants are expected to work on their project a regular basis and to submit their progress to Git. Preliminary results are regularly presented and discussed in class. The submitted project contains the report and the source code.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio. Details on the assessment will be announced at the beginning of the course.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer Presentation with projector
Literatur Reading list	Specific literature for each topic will be announced at the beginning of the semester.

6090 Sicherheit von Rechnern und eingebetteten Systemen PN 455385 Security of Computer and Embedded Systems	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kavun
Dozent(in) Lecturer	Kavun
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“, Modulgruppe „ITS“ Focus „IT-SecRel“, Focus „ITS“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 55 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen • die Komplexität der Sicherheitslandschaft, • die potenziellen Schwachstellen, die damit verbunden sind, z.B Authentifizierung, Datenintegrität,

	• die Vor- und Nachteile verschiedener Prinzipien der Informationssicherheit • die Risiken von Sicherheitslücken zu verstehen. — Students get to know • the complexity of the security landscape, • the potential vulnerabilities associated, e.g., authentication, data integrity, • the advantages and disadvantages different information security principles, • understand the risks of security vulnerabilities. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben ein detailliertes Verständnis industriell relevanter Fragen im Zusammenhang mit Rechnersicherheit und eingebetteter Sicherheit sowie die Fähigkeit, Material präzise und dennoch umfassend zu präsentieren und dieses Material angemessen auf das betreffende Publikum auszurichten. — Students practice a detailed understanding of industrially relevant issues relating to computer security and embedded security as well as the ability to present material in a concise yet comprehensive manner and to target that material appropriately to the audience in question. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden lernen die verschiedenen Arten von Rechnerangriffen und deren Auswirkungen auf die Sicherheit und Datenschutz, die Grundprinzipien der Informationssicherheit sowie einige praktische Kenntnisse darüber, wie diese Prinzipien und Implementierungstechnologien verwendet werden können, um eine bessere Daten- und Systemsicherheit zu gewährleisten. — The students gain awareness on the different types of computer attacks and their effect on data security and privacy, get an understanding of the fundamental principles of information security and get some practical knowledge of how these principles and implementing technologies can be used to ensure better data and system security.
Inhalt Course content	Dieses Modul bietet eine Einführung in die Rechnersicherheit und die eingebettete Sicherheit. Dieses Modul konzentriert sich insbesondere auf Ansätze und Techniken zum Aufbau sicherer Systeme und zum sicheren Betrieb von Systemen. Das Modul erfordert ein Verständnis der mathematischen Konzepte (z. B. Modulo-Arithmetik, komplexe Zahlen, Gruppentheorie) und Logik (Mengenlehre, Prädikatenlogik, natürliche

Deduktion). Darüber hinaus erfordert das Modul ein Verständnis einer Programmiersprache (z. B. Python, C) und grundlegende Kenntnisse in der Softwareentwicklung. Einige Übungen erfordern Linux und Shell Grundlagen.
Das Modul beinhaltet die Themen:

- Grundlagen der Rechnersicherheit
- Zugangskontrolle
- Eingebettete Systeme
- Sicherheitsbedürfnis in eingebetteten Systemen
- Kryptografische Grundlagen
- Krypto-Angriffe
- Public Key-Infrastrukturen (PKIs)
- Digitale Signaturen
- Sicherheitsprotokolle
- Formale Analyse von Sicherheitsprotokollen
- Sicherer Software-Entwicklungslebenszyklus (SSDL)
- Bedrohungsmodellierung
- Common Vulnerability Scoring System (CVSS)
- Sicherheitslücken in der Software
- Sichere Programmierung
- Sicherheitstests: Grundlagen, Fuzzing, statische Analyse
- Sicherheit von Komponenten von Drittanbietern
- RFID-Sicherheit
- Sicherheit von integrierten Schaltungen

—

This module provides an introduction into computer security and embedded security. In particular, this module focuses on approaches and techniques for building secure systems and for the secure operation of systems.
The module requires an understanding of mathematical concepts (e.g., modulo-arithmetic, complex numbers, group theory) and logic (set theory, predicate logic, natural deduction). Moreover, the module requires an understanding of a programming language (e.g., Python, C) and basic software engineering knowledge. Some exercises require a basic command of Linux in general and the command line (shell) in particular.
The module includes the topics:

- Computer Security Fundamentals
- Access Control
- Embedded Systems
- Need for Security in Embedded Systems
- Cryptographic Foundations
- Attacking Crypto
- Public Key Infrastructures (PKIs)
- Digital Signatures

	• Security Protocols • Formal Analysis of Security Protocols • Secure Software Development Lifecycle (SSDL) • Threat Modelling • Common Vulnerability Scoring System (CVSS) • Software Vulnerabilities • Secure Programming • Security Testing: Basics, Fuzzing, Static Analysis • Security of Third-Party Components • RFID Security • Hardware Fingerprinting & IC Security
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten schriftliche Klausur oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung in englischer Sprache und je nach Anzahl der Hörer; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (90 minutes) or oral exam in English according to the number of participants (about 20 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	J. Gersting. Mathematical Structures for Computer Science. WH Freeman, 7th edition, 2016. R. J. Anderson. Security Engineering: A Guide to Building Dependable Distributed Systems. John Wiley & Sons Inc., 1st edition, 2001. A. J. Menezes, S. A. Vanstone, and P. C. V. Oorschot. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press Inc., 5th edition, 2001. M. Howard, D. LeBlanc, and J. Viega. 24 Deadly Sins of Software Security: Programming Flaws and How to Fix Them. McGraw-Hill Inc., 1st edition, 2010. UND / AND In der Vorlesungen und Übungen werden Online-Ressourcen bereitgestellt und spezifische Literatur angesagt. Online resources will be provided and specific readings will be announced during the lectures and exercise sessions.

6091	Sicherheitsprozessor Design Security Processor Design	PN 455392
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kavun	
Dozent(in) Lecturer	Kavun	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 55 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Digitales Design, HDL, Kryptographie Digital Design, HDL, Cryptography	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen den theoretischen und praktischen Hintergrund für den Entwurf eines programmierbaren kryptografischen Prozessors kennen. —	

	Students get to know the theoretical and practical background to design a programmable cryptographic processor. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben das Design eines einfachen gespeicherten Programmcomputers mit kryptografischen Verarbeitungsfunktionen, die Implementierung eines solchen Prozessors mit Verilog-HDL sowie fortgeschrittene Probleme wie Pipelining, Caching, gemeinsame Nutzung von Ressourcen und Retiming. — Students practice the design of a basic stored program computer with cryptographic processing capabilities, the implementation of such a processor using Verilog-HDL and advanced issues such as pipelining, caching, resource sharing, retiming. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden lernen Verständnis der Grundprinzipien des digitalen Designs und der Rechnerarchitektur, erlangen einige praktische Kenntnisse darüber, wie diese Prinzipien und Implementierungstechnologien zusammen mit kryptografischen Algorithmen verwendet werden können, um eine bessere Daten- und Systemsicherheit zu gewährleisten. — The students get an understanding of the fundamental principles of digital design and computer architecture and get some practical knowledge of how these principles and implementing technologies can be used together with cryptographic algorithms to ensure better data and system security.
Inhalt Course content	Das Modul beinhaltet die Themen • Digitales Systemdesign und Tools • Grundlegende Rechnerorganisation • Befehlsformate und Befehlssätze • ALU Design • Datenpfad-Design • Steuerungsdesign: Festverdrahtet und mikroprogrammiert • Pipelining • Speichersysteme • Komplexe arithmetische Einheit und kryptografisches Co-Prozessor-Design • Befehlssatzerweiterungen für die Kryptographie — The module includes the topics • Digital system design and tools • Basic computer organization • Instruction formats and instruction sets • ALU design

	• Datapath design • Control design: Hardwired and microprogrammed • Pipelining • Memory systems • Complex arithmetic unit and cryptographic co-processor design • Instruction set extensions for cryptography
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung in englischer Sprache. Ein Abschlussprojekt und der entsprechende Bericht sollten eingereicht werden. Portfolio Exam in English language. A final project and its corresponding report should be submitted.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	M. Morris R. Mano, Michael D. Ciletti. Digital Design, 5th Edition, Pearson, 2013. David Patterson, John Hennessy. Computer Organization and Design: The Hardware/Software Interface (MIPS Edition), 5th Edition, Morgan Kaufmann, 2013. Christof Paar, Jan Pelzl. Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners, Springer, 2010. MIPS Architecture for Programmers Volume II-A: The MIPS32 Instruction Set Manual, Revision 6.06, 2016. UND / AND In den Vorlesungen und Übungen werden Online-Ressourcen bereitgestellt und spezifische Literatur angesagt. Online resources will be provided and specific readings will be announced during the lectures and exercise sessions.

6092	Digitales Design mit Verilog-HDL auf FPGA Digital Design with Verilog-HDL on FPGA	PN 455408
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kavun	
Dozent(in) Lecturer	Kavun	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“, Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „ITS“, Focus „IT-SecRel“	
Lehrform/SWS Contact hours	3Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 55 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden können • die Bedeutung kanonischer Formen bei der Minimierung oder sonstigen Optimierung von booleschen Formeln in allgemeinen und digitalen Schaltungen erkennen,	

- Funktionen mit Hilfe beliebiger Minimierungsalgorithmen (Boolesche Algebra oder Karnaugh Map) minimieren,
- Analyse der Entwurfsverfahren für kombinatorische und sequentielle Schaltungen,
- das Problem zu definieren (Eingänge und Ausgänge), seine Funktionen zu schreiben,
- den endlichen Automaten mit Hilfe von algorithmischen Zustandsdiagrammen entwerfen und einfache Projekte mit einigen Flip-Flops durchführen,
- Entwurf digitaler Schaltungen unter Verwendung der Hardware-Beschreibungssprache (Verilog),
- Implementierung von Funktionen mit digitalen Schaltungen (kombinatorisch oder sequentiell) auf einer rekonfigurierbaren Plattform (FPGA-Board),
- Verwendung von Industriestandard-Software-Entwurfssoftware und programmierbaren Geräten wie FPGAs zur Implementierung digitaler Schaltungen,
- komplexe Algorithmen wie kryptografische Primitive entwerfen, um verschiedene Entwurfsspezifika zu beobachten.

—

Students can

- identify the importance of canonical forms in the minimization or other optimization of Boolean formulas in general and digital circuits,
- minimize functions using any type of minimizing algorithms (Boolean algebra or Karnaugh map),
- analyze the design procedures of combinational and sequential circuits,
- define the problem (inputs and outputs), write its functions,
- design the finite state machine using algorithmic state machine charts and perform simple projects with a few flip-flops,
- design digital circuits using Hardware Description Language (Verilog),
- implement functions using digital circuit (combinational or sequential) on reconfigurable platform (FPGA board),
- use industry standard software design suite and programmable devices such as FPGAs to implement digital circuits,
- design complex algorithms like cryptographic primitives to observe different design specifics.

	Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden erwerben die Fähigkeit • komplexe technische Probleme zu erkennen, zu formulieren und zu lösen, indem sie ingenieurwissenschaftliche, naturwissenschaftliche und mathematische Prinzipien anwenden, • wenden Digitales Design Optimierung Methoden an, um Lösungen zu entwickeln, die bestimmte Anforderungen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren erfüllen, • im Rahmen eines Modulprojekts Aufgaben zu stellen und Ziele zu erreichen. — Students gain an ability to • identify, formulate, and solve complex engineering problems by applying principles of engineering, science, and mathematics, • apply digital design optimization techniques to produce solutions that meet specified needs with consideration of different factors, • establish goals and meet objectives in a module project. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden • erwerben Kenntnisse in der Analyse und dem Entwurf von Verfahren für kombinierte und sequentielle Schaltungen, • lernen, wie man Hardware-Simulationssoftware zum Testen der entworfenen Schaltung verwendet, • lernen, wie man einen effektiven technischen Bericht für die Bewertung schreibt, • gewinnen Erfahrung in der Nutzung von Online-Ressourcen zur Beschaffung aktueller Literatur zu digitalen Designkomponenten. — The students • gain knowledge in analyzing and designing procedures of combinational and sequential circuits, • learn how to use hardware simulation software for testing the designed circuit, • learn how to write an effective technical report for the assessment, • gain experience on using online resources to obtain current literature on engineering components.
Inhalt Course content	Diese Übung behandelt die Konzepte, Prinzipien und Techniken des Entwurfs und der Implementierung digitaler Systeme. Der Kurs lehrt die Grundlagen digitaler Systeme un-

ter Anwendung der Logikentwurfs- und Entwicklungstechniken. Praktische Laborexperimente mit einem rekonfigurierbaren Board dienen der Vertiefung der theoretischen Konzepte. Die Laborexperimente beinhalten den Entwurf und die Implementierung von digitalen Schaltungen. Der Schwerpunkt des Kurses liegt auf der Verwendung von CAD-Tools (Computer-Aided Design) für den Entwurf, die Simulation und das Testen von digitalen Schaltungen anhand konkreter Beispiele, insbesondere bei Sicherheit- und Kryptographieanwendungen.

Ziel des Moduls ist es, den Studenten die Themen kombinatorische und sequentielle Schaltungsanalyse und -entwurf, Optimierungsmethoden für den Entwurf digitaler Schaltungen unter Verwendung von Multiplexern, Decodern, Registern, Zählern und programmierbaren Logikarrays anhand eines rekonfigurierbaren FPGA-Evaluierungsboards zu vermitteln.

Das Modul beinhaltet die Themen

- Grundlagen der Elektronik
- Zahlendarstellung und Binärcodes
- Boolesche Algebra und Funktionen, kanonische Formen
- Kombinatorische Entwurfstechniken: K-Maps
- Kombinatorische Logikschaltungen: Addierer/ Subtraktor, Codewandler, Komparatoren, Multiplexer/Demultiplexer und Decoder/Encoder
- Programmierbare Logikschaltungen, feldprogrammierbare Gate-Arrays (FPGA)
- Sequentielle Logikschaltungen
- Latches und Flip-Flops
- Zustandsverhalten von synchronen sequentiellen Schaltungen: Zustandstabellen
- Implementierung von kryptographischen Algorithmen und anderen Beispielschaltungen auf FPGA

—

This exercise course addresses the concepts, principles and techniques of digital systems design and implementation. The course teaches the fundamentals of digital systems applying the logic design and development techniques. Practical laboratory experiments using a reconfigurable board are used to reinforce the theoretical concepts. The lab experiments involve the design and implementation of digital circuits. The course emphasis is on the use of computer-aided design (CAD) tools in the design, simulation, and testing of digital circuits through specific examples, especially in security and cryptography applications.

The aim of the course is to introduce to the students the topics that include combinational and sequential circuit ana-

	lysis and design, digital circuit design optimization methods using random logic gates, multiplexers, decoders, registers, counters, and programmable logic arrays through a reconfigurable FPGA evaluation board. The module includes the topics • Basics of electronics • Number representation and binary codes • Boolean algebra and functions, canonical forms • Combinational design techniques: K-maps • Combinational logic circuits: adders/subtractors, code converters, comparators, multiplexors/demultiplexors, and decoders/encoders • Programmable logic circuits, field programmable gate arrays (FPGA) • Sequential logic circuits • Latches and flip-flops • State behavior of synchronous sequential circuits: State tables • Implementation of cryptographic algorithms as well as other example circuits on FPGA
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung in englischer Sprache. Ein Abschlussprojekt und der entsprechende Bericht sollten eingereicht werden. Portfolio Exam in English language. A final project and its corresponding report should be submitted.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel, Boolean Board FPGA Presentation and projector, blackboard, Boolean Board FPGA
Literatur Reading list	`https://www.realdigital.org/hardware/boolean` M. Morris R. Mano, Michael D. Ciletti. Digital Design, 5th Edition, Pearson, 2013. UND / AND In den Übungen werden Online-Ressourcen bereitgestellt und spezifische Literatur angesagt. Online resources will be provided and specific readings will be announced during the exercise sessions.

6093 Implementierung von kryptographischen Verfahren Implementation of Cryptographic Schemes	PN 422170
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kavun
Dozent(in) Lecturer	Kavun
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRI“ Focus „IT-SecRI“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 55 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	IT-Sicherheit, Kryptographie, Programmierung IT Security, Cryptography, Programming
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen • verschiedene kryptographische Implementierungen in der Sicherheitslandschaft kennen, • die potenziellen Schwachstellen kennen, die mit der

praktischen Umsetzung verbunden sind,
- die Vor- und Nachteile verschiedener Metriken in der Kryptographie kennen,
- die Effizienzmetriken und potenziellen Risiken bei der Implementierung von Sicherheitsanwendungen zu verstehen.

—

Students get to know
- different cryptographic implementations in the security landscape,
- the potential vulnerabilities associated with real-world implementations,
- the advantages and disadvantages different metrics in cryptography,
- understand the efficiency metrics and potential risks in the implementations of security applications.

Fähigkeiten / Abilities

Die Studierenden üben
- ein detailliertes Verständnis für praxisrelevante Fragen im Zusammenhang mit Sicherheit und Kryptographie,
- die Fähigkeit, Material präzise und dennoch umfassend zu präsentieren und dieses Material angemessen auf das betreffende Publikum auszurichten.

—

Students practice
- a detailed understanding of practice relevant issues relating to security and cryptography,
- the ability to present material in a concise yet comprehensive manner and to target that material appropriately to the audience in question.

Kompetenzen / Competencies

Die Studierenden lernen
- die verschiedenen Ansätze bei der Implementierung von Kryptographie und deren Auswirkungen auf Effizienz und Robustheit kennen,
- die grundlegenden Prinzipien von kryptographischen Implementierungen kennen,
- einige praktische Kenntnisse darüber erlangen, wie diese Prinzipien und Implementierungstechnologien verwendet werden können, um eine bessere Daten- und Systemsicherheit zu gewährleisten.

—

The students
- gain awareness on the different approaches in cryptography implementations and their effect on efficiency and

	robustness, • get an understanding of the fundamental principles of cryptographic implementations, • get some practical knowledge of how these principles and implementing technologies can be used to ensure better data and system security.
Inhalt Course content	Dieses Modul führt in spezifische Themen der Kryptographie und deren effiziente und sichere Implementierung ein. Insbesondere konzentriert sich dieses Modul auf Ansätze und Techniken zur Implementierung sicherer und effizienter kryptographischer Anwendungen. Das Modul erfordert ein Verständnis der mathematischen Konzepte (z. B. Modulo-Arithmetik, komplexe Zahlen, Gruppentheorie) und Logik (Mengenlehre, Prädikatenlogik, natürliche Deduktion). Darüber hinaus erfordert das Modul ein Verständnis einer Programmiersprache (z. B. Python, C) und grundlegende Kenntnisse in der Softwareentwicklung. Einige Übungen erfordern Linux und Shell Grundlagen im Besonderen. Das Modul beinhaltet die Themen • Kryptografische Implementierungen in Software und Hardware • Leichtgewichtige Kryptographie • Kryptographie mit niedriger Latenzzeit• White-box-Kryptographie • RSA-Implementierungstechniken • Angriffe auf Krypto • Physikalische Angriffe und Gegenmaßnahmen • Neue Themen im Bereich Sicherheit und Kryptographie — This module introduces specific topics in cryptography and their efficient and secure implementation. In particular, this module focuses on approaches and techniques for implementing secure and efficient cryptographic applications. The module requires an understanding of mathematical concepts (e.g., modulo-arithmetic, complex numbers, group theory) and logic (set theory, predicate logic, natural deduction). Moreover, the module requires an understanding of a programming language (e.g., Python, C) and basic software engineering knowledge. Some exercises may require a basic command of Linux in general and the command line (shell) in particular. The module includes the topics • Cryptographic implementations in software and hardware • Lightweight cryptography • Low-latency cryptography

	• White-box cryptography • RSA implementation techniques • Attacking crypto • Physical attacks and countermeasures • Emerging topics in security and cryptography
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten schriftliche Klausur, oder Portfolio-Prüfung in englischer Sprache (Ein Abschlussprojekt und der entsprechende Bericht sollten eingereicht werden), oder ca. 20 Minuten mündliche Prüfung in englischer Sprache und je nach Anzahl der Hörer; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (90 minutes), or Portfolio Exam in English language. (A final project and its corresponding report should be submitted), or oral exam in English according to the number of participants (about 20 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	J. Gersting. Mathematical Structures for Computer Science. WH Freeman, 7th edition, 2016. R. J. Anderson. Security Engineering: A Guide to BuildingDependable Distributed Systems. John Wiley & Sons Inc., 1st edition, 2001. A. J. Menezes, S. A. Vanstone, and P. C. V. Oorschot. Handbook of Applied Cryptography. CRC Press Inc., 5th edition, 2001. C. Paar and J. Pelzl. Understanding Cryptography: ATextbook for Students and Practitioners. Springer, 2010. UND / AND In der Vorlesungen und Übungen werden Online-Ressourcen bereitgestellt und spezifische Literatur angesagt. Online resources will be provided and specific readings will be announced during the lectures and exercise sessions.

6100	Computational Game Theory	PN 472690
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Harks	
Dozent(in) Lecturer	Harks	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60+30 Std. Präsenz, 90+90 Std. Eigenarbeitszeit 60+30 contact hours, 90+90 hours independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I+II, Lineare Algebra I+II Analysis I+II, Linear Algebra I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Fragestellungen und Methoden der algorithmischen Spieltheorie. — The students learn the foundations of algorithmic game theory. Fähigkeiten / Abilities	

	Die Studierenden können verteilte Systeme mit strategischer Interaktion modellieren und analysieren. Insbesondere algorithmische Zugänge zur Berechnung von Gleichgewichtslösungen werden vermittelt. — The students are able to model distributed systems with strategically interacting agents. They are able to algorithmically solve such systems by means of computing equilibrium solutions. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, verteilte Systeme mit strategischer Interaktion zu modellieren, zu bewerten und mit Rechnerunterstützung zu lösen. — The students have the competence to model and algorithmically solve distributed systems with strategically interacting agents.
Inhalt Course content	Nash-Equilibrium, Lemke-Howson, PPAD, PLS, Congestion Games, Pricing, Cooperative Game Theory, Core, Auctions, Mechanism Design
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Klausur (oder 30 Minuten mündliche Prüfung) über die Themen: Nash-Equilibrium, Lemke-Howson, PPAD, PLS, Congestion Games, Pricing, Cooperative Game Theory, Core, Auctions, Mechanism Design. Exam (120 minutes) or oral exam (30 minutes) covering the topics: Nash-Equilibrium, Lemke-Howson, PPAD, PLS, Congestion Games, Pricing, Cooperative Game Theory, Core, Auctions, Mechanism Design.
Medienformen Media used	Tafelanschrieb Blackboard
Literatur Reading list	Skriptum

6101	Komplexe Dynamische Netzwerke Complex Dynamic Networks	PN 471515
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Schönlein	
Dozent(in) Lecturer	Schönlein	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 55 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I+II, Lineare Algebra I+II, Gewöhnliche Differentialgleichungen Analysis I+II, Linear Algebra I+II, Ordinary Differential Equations	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Grundlagen der mathematischen Modellierung komplexer Systeme wie kausale Loop Diagram-	

	me. Sie verstehen den Einfluss von Rückkopplungen unter den Komponenten komplexer dynamischer Netzwerke. Die Studierenden sind in der Lage komplexe Netzwerke zu visualisieren und zu simulieren. Sie kennen verschiede Maße für die Strukturanalyse komplexer Netzwerke. — The participants are familiar with the fundamentals of modeling complex systems, such as causal loop diagrams. They command methods for creating mathematical models in science and engineering. They are aware of feedback interactions among the components of complex dynamic networks. The students are able to visualize and simulate complex networks and know measures and metrics capturing features of network structures. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage mathematische Modelle für reale Systeme zu erstellen. Sie können komplexe Systeme untersuchen indem sie Simulationen erstellen und verschiedene Struktureigenschaften analysieren. — The students are able to create mathematical models for real-world systems. They are able to draw conclusions based on visualizations, simulations and structural analysis.
Inhalt Course content	Folgende Themen werden behandelt: Modellierung komplexer Systeme (Kausale Loop Diagramme), Darstellung komplexer Systeme, Strukturanalyse komplexer Systeme (Zentralitätsmaße, PageRank, Gruppenbildung), Synchronisation gekoppelter Systeme, Populations- und Epidemie-Modelle — The following topics will be covered: modeling complex systems (causal loop diagrams), visualization and simulation of complex systems, analysis of topological properties (centrality measures, PageRank, clustering), population and epidemic models
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters durch Aushang und auf den Internetseiten der Fakultät bekannt gegeben. 90-minute examination or 20-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced on the noticeboard and on the faculty website at the beginning of the semester.

Medienformen Media used	Tafelanschrieb, Online Lehre via Zoom Blackboard, online teaching via Zoom
Literatur Reading list	H. Sayama. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems. Open SUNY Textbooks, 2015 J. Sterman. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. McGraw-Hill Higher Education, 2000 S. Meyn. Control Techniques for Complex Networks. Cambridge University Press, 2008 M. Newman. Networks. 2nd Ed. Oxford University Press, 2018

6103	Distributed Algorithms	PN 422150
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Harks	
Dozent(in) Lecturer	Ghodselahi, Harks	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz, 60 Std. Übung, 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours, 60 hours independent study, 60 hours lecture and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Interesse an Algorithmik Interest in algorithmic problems	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Fragestellungen und Methoden des verteilten Rechnens. Insbesondere werden Theme wie „communication, locality, parallelism, self-organization, symmetry breaking, synchronization, and uncertainty” behandelt.	

	— Understanding of the fundamental principles and issues underlying the design of distributed systems and networks Familiarity with essential algorithmic ideas and lower bound techniques in distributed computing Ability to analyze and design distributed algorithms for areas such as communication, locality, parallelism, self-organization, symmetry breaking, synchronization, and uncertainty Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden sind in der Lage verteilte Algorithmen zu entwerfen und für Anwendungen im Bereich Kommunikation, Parallelisierbarkeit und Selbstorganisation anzuwenden. — Analyze and design distributed algorithms for areas such as communication, locality, parallelism, self-organization, symmetry breaking, synchronization, and uncertainty Understand the fundamental principles and issues underlying the design of distributed systems and networks Develop a strong foundation for further study or work in the field of distributed computing Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, verteilte Algorithmen zu entwerfen und für Anwendungen mit Rechnerunterstützung Lösungen zu berechnen. — The ability to analyze and design distributed algorithms for a variety of fundamental issues in distributed computing The ability to apply knowledge of distributed computing to real-world distributed systems and networks A strong understanding of the fundamental principles and issues underlying the design of distributed systems and networks
Inhalt Course content	Introduction, Vertex Coloring, Tree Algorithms, Distributed Sorting, Maximal Independent Set, Shared Objects, Locality-Based Lower Bounds, Synchronizers, Dynamic Networks
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Klausur (oder 30 Minuten mündliche Prüfung) über: Vertex Coloring, Tree Algorithms, Distributed Sorting, Maximal Independent Set, Shared Objects, Locality-Based Lower Bounds, Synchronizers, Dynamic Networks Exam (120 minutes) or oral exam (30 minutes) covering the topics: Vertex Coloring, Tree Algorithms, Distributed Sorting, Maximal Independent Set, Shared Objects, Locality-Based Lower Bounds, Synchronizers, Dynamic Networks
Medienformen Media used	Tafelanschrieb Blackboard, (videos in case of virtual lecture)

Literatur Reading list	Distributed Computing: A Locality-Sensitive Approach D. Peleg Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2000. Distributed Computing: Fundamentals, Simulations and Advanced Topics H. Attiya, J. Welch McGraw-Hill Publishing, 1998. Dissemination of Information in Communication Networks J. Hromkovic, R. Klasing, A. Pelc, P. Ruzicka, W. Unger Springer-Verlag, 2005. Introduction to Parallel Algorithms and Architectures: Arrays, Trees, Hypercubes F. T. Leighton Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1991. Introduction to Algorithms (3rd edition) T. Cormen, C. Leiserson, R. Rivest, C. Stein The MIT Press, 2009.

6105	Dynamic Network Flows	PN 422160
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Harks	
Dozent(in) Lecturer	Graf, Harks	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	30+30 Std. Präsenz, 60+60 Std. Eigenarbeitszeit 30+30 contact hours, 60+60 hours independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I, Analysis I+II Linear Algebra I, Analysis I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Modelle und Methoden, um dynamische Netzwerkflüsse zu berechnen und zu charakterisieren. Des Weiteren werden Modelle mit strategisch agierenden Flusspartikeln betrachtet. — The students learn the foundations of dynamic network flows	

	from a computational perspective. They also understand models with strategic acting agents. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können dynamische Netzwerkflüsse modellieren und charakterisieren. Des Weiteren können sie Modelle mit strategischer Interaktion von Flusspartikeln modellieren und analysieren. Insbesondere algorithmische Zugänge zur Berechnung von Gleichgewichtslösungen werden vermittelt. — The students are able to model dynamic network flows with and without strategically interacting agents. They are able to algorithmically solve such models by means of computing equilibrium solutions. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden haben die Kompetenz, dynamische Netzwerkflüsse sowohl ohne wie auch mit strategischer Interaktion von Flusspartikeln zu modellieren, zu bewerten und mit Rechnerunterstützung zu lösen. — The students have the competence to model and algorithmically solve dynamic network flows with and without strategically interacting agents.
Inhalt Course content	Dynamic capacitated flows, earliest arrival flows, Ford-Fulkerson Algorithm, Vickrey model, dynamic equilibrium flows, thin flows, instantaneous dynamic equilibrium flows, path-delay operator model
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Klausur (oder 30 Minuten mündliche Prüfung) über die Themen: Dynamic capacitated flows, earliest arrival flows, Ford-Fulkerson Algorithm, Vickrey model, dynamic equilibrium flows, thin flows, instantaneous dynamic equilibrium flows, path-delay operator model. Exam (120 minutes) or oral exam (30 minutes) covering the topics: Dynamic capacitated flows, earliest arrival flows, Ford-Fulkerson Algorithm, Vickrey model, dynamic equilibrium flows, thin flows, instantaneous dynamic equilibrium flows, path-delay operator model.
Medienformen Media used	Tafelanschrieb Blackboard, (videos in case of virtual lecture)
Literatur Reading list	Skriptum

6106	Computational Geometry	PN 405125
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Hinweis: Das Modul ersetzt das alte Modul „Algorithmische Geometrie“ - keine Doppelanrechung möglich! Irregular Notice: The module replaces the old module „Algorithmic Geometry“ - cannot be credited twice.	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Harks	
Dozent(in) Lecturer	Desai	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Euklidische Geometrie, Algorithmen und Datenstrukturen, Lineare Algebra, Analysis Euclidean Geometry, Algorithms and Data Structures, Linear Algebra, Analysis	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	

Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen Techniken, die man für den Entwurf und die Analyse geometrischer Algorithmen und Datenstrukturen benötigt. — The students know techniques that can be used to design and analyze geometric algorithms and data structures. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können die in der Vorlesung vorgestellten Verfahren und Datenstrukturen exemplarisch ausführen, deren Funktionsweise erläutern und sie analysieren. — The students can apply the algorithms and data structures presented in the lecture on examples, can explain the way they work and are able to analyze them. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden können entscheiden, welche Algorithmen oder Datenstrukturen geeignet sind, um ein gegebenes geometrisches Problem zu lösen. Die Studierenden sind in der Lage, neue Probleme zu analysieren und sich auf Basis der in der Vorlesung erlernten Konzepte und Techniken eigene effiziente Lösungen zu überlegen. — The students have the competence to decide which algorithms or data structures are useful to solve a geometric problem. They are able to analyze new problems and think of efficient solutions based on the concepts and techniques learned in the lecture.
Inhalt Course content	Diese Vorlesung beschäftigt sich mit den algorithmischen Aspekten geometrischer Problemstellungen: Wir werden Techniken erlernen, die man für den Entwurf und die Analyse von geometrischen Algorithmen und Datenstrukturen benötigt. Insbesondere werden Themen wie “Convex hull in 2d, Range search, intersections, Polygon triangulation, Art Gallery theorem, Duality and line arrangements, Voronoi diagram and Delaunay triangulations, Epsilon-nets and VC-dimension, Clustering point sets” vorgestellt. — This lecture deals with algorithmic aspects of geometric tasks: we will learn techniques that can be used to design and analyze geometric algorithms and data structures. In particular, we will cover topics like Convex hull in 2d, Range search, intersections, Polygon triangulation, Art Gallery theorem, Duality and line arrangements, Voronoi diagram and De-

	launay triangulations, Epsilon-nets and VC-dimension, Clustering point sets.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten) über die Themen der Vorlesung. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. Written exam (120 minutes) or oral exam (approx. 30 minutes) covering the content of the course. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafelanschrieb Blackboard, (videos in case of virtual lecture)
Literatur Reading list	Mark de Berg, Otfried Cheong, Marc van Kreveld, Mark Overmars: Computational Geometry: Algorithms and Applications. Springer-Verlag, 3rd edition, 2008. Rolf Klein: Algorithmische Geometrie: Grundlagen, Methoden, Anwendungen. Springer-Verlag, 2nd edition, 2005.

6111 Klassische Grenzwertsätze & große Abweichungen Classical Limit Theorems & Large Deviations	PN 451019
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Prochno
Dozent(in) Lecturer	Prochno
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	9
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Einführung in die Stochastik, Wahrscheinlichkeitstheorie Introduction to Stochastics, Probability Theory
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden bekommen ein vertieftes Verständnis klassischer Grenzwertsätze der Wahrscheinlichkeitstheorie und lernen die grundlegenden Konzepte sowie Techniken der Theorie der großen Abweichungen kennen.

	— Students obtain a deeper understanding of classical limit theorems in probability and learn the fundamental concepts and methods of large deviations theory. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben den Umgang sowie die Kombination der Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie, speziell der Theorie der großen Abweichungen, an ausgewählten Problemen, die sich auf verschiedene Bereiche der Mathematik, wie etwa Funktionalanalysis, Wahrscheinlichkeitstheorie, (konvexe und diskrete) Geometrie sowie theoretische Informatik, stützen. — Students practice handling the methods developed and used in probability theory, in particular large deviations theory, which are intimately related to functional analysis, probability theory, (discrete and convex) geometry, and computer science. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, die Konzepte und Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie, speziell der Theorie der großen Abweichungen, bei konkreten Fragestellungen anzuwenden. — The students are able to approach problems in mathematics and related fields by means of methods and ideas from probability theory, in particular large deviations theory.
Inhalt Course content	Ausgehend von den klassischen Grenzwertsätzen der Wahrscheinlichkeitstheorie, die das typische Verhalten etwa von Summen u.i.v Zufallsgrößen beschreiben, führen wir in die Theorie der großen Abweichungen ein, d.h. die zentralen Begriffe, Konzepte und fundamentale Sätze werden behandelt. Die Theorie beschäftigt sich mit untypischen/ seltenen Ereignissen und deren asymptotische Quantifizierung mittels Ratenfunktionen. Sie steht historisch in enger Verbindung zur statistischen Physik und hat moderne Anwendungen/Bezüge etwa zu geometrischer Funktionalanalysis, Konvexgeometrie oder theoretischer Informatik. Das Modul beinhaltet Elemente aus: • Kolmogorovs L1-Version des SGGZ • Lindebergs Zentraler Grenzwertsatz • Lindeberg Methode • Legendre Transformation • Kumulantenerzeugende Funktion • Satz von Cramér • Satz von Cramér (heavy tails Version)

	• Prinzipien großer Abweichungen • Kontraktionsprinzip • Varadhans Variationslemma • Satz von Sanov • Anwendungen in Funktionalanalysis, theoretischer Informatik — Starting with the classical limit theorems in probability theory, which describe, for instance, the typical behavior of sums of iid random variables, we introduce the theory of large deviations with its key notions and concepts as well as some of the fundamental results. The theory deals with atypical/ rare events and their asymptotic quantification using rate functions. Historically, the area is closely linked to statistical physics and has modern applications in/ is related to geometric functional analysis, convex geometry or theoretical computer science. The module covers elements from: • Kolmogorov's L1 version of the SLLN • Lindeberg's central limit theorem • Lindeberg's method • Legendre transformation • Cumulant generating function • Cramér's theorem • Cramér's theorem (heavy tails version) • Large deviation principles • Contraction principle • Varadhan's variational lemma • Sanov's theorem • Applications in functional analysis, theoretical computer science
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur (90 Minuten) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten) in deutscher oder englischer Sprache; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written examination or oral exam (about 30 minutes) in German or English; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel/Tablet Presentation and projector, blackboard/tablet
Literatur Reading list	J. Prochno: Classical limit theorems & large deviations, Lecture notes, 2020 F. Den Hollander: Large Deviations, Fields Institute Monographs, Volume 14, 2000 A. Dembo, O. Zeitouni: Large Deviations Techniques & Applications, Springer, 2010

6112 Introduction to Information-based Complexity and Compressed Sensing	PN 485384
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Prochno
Dozent(in) Lecturer	Prochno, Sonnleitner
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 40 Std. Übungen + 80 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 40 hrs exercises + 80 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I+II, Analysis I+II, Einführung in die Stochastik Linear Algebra I+II, Analysis I+II, Introduction to Stochastics
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen Grundkonzepte und -resultate der “Information-based complexity” und wissen über die Funktionsweise von “Compressed Sensing” Bescheid.

	— The students know fundamental concepts and statements of information-based complexity and are aware of the workings of compressed sensing. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben anhand ausgewählter Probleme Begriffe und Methoden aus "Information-based Complexity" und "Compressed Sensing" einzuordnen und anzuwenden. Sie wenden diese an, um konkrete Fragestellungen zu beantworten. — The students practice with the help of selected problems to classify and apply concepts and methods of information-based complexity and compressed sensing. They apply these in order to solve concrete problems. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, die Konzepte und Methoden von "Information-based Complexity" und "Compressed Sensing" bei konkreten Fragestellungen anzuwenden. — The students are able to apply concepts and methods of information-based complexity and compressed sensing to concrete problems.
Inhalt Course content	Die "Information-based Complexity" beschäftigt sich mit der theoretischen Analyse von numerischen Problemen und der Komplexität dieser Probleme in Abhängigkeit von gegebener Information und Dimensionalität. "Compressed Sensing" ist eine effiziente Methode, um Signale mit wenigen wesentlichen Charakteristika wiederherzustellen oder abzuspeichern, und wird als solche in der Lehrveranstaltung im Rahmen von "Information-based Complexity" studiert. Der Inhalt setzt sich aus Themenbereichen der folgenden Liste zusammen: • Grundlagen der "Information-based complexity" • Numerische Integration und Approximation • Lineare Algorithmen und lineare Probleme • "Compressed sensing" und "sparse approximation" • "Restricted Isometry Property" • (Gauss'sche) Zufallsmatrizen und Maßkonzentration — Information-based Complexity is concerned with the theoretical analysis of numerical problems and their complexity with respect to given information and intrinsic dimensionality. Compressed sensing is an efficient technique to recover and store signals with few important features, and as such will be studied in this course in the framework of information-based complexity. The content is based on elements of the following

	list: • Information-based complexity basics • Numerical integration and approximation • Linear algorithms and Linear problems • Compressed sensing and sparse approximation • Restricted Isometry Property • (Gaussian) random matrices and concentration of measure
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Klausur (90 Minuten) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten) in deutscher oder englischer Sprache; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written examination or oral exam (about 30 minutes) in German or English; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel/Tablet Presentation and projector, blackboard/tablet
Literatur Reading list	Skript / lecture notes Weiterführende Literatur wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben Additional reading material will be announced at the start of the semester

6113	Einführung in die Approximationstheorie Introduction to Approximation Theory	PN 455460
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Prochno	
Dozent(in) Lecturer	Prochno	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 1Ü	
Arbeitsaufwand Workload	45 Std. Präsenz + 50 Std. Übungsaufgaben + 55 Std. Nachbereitung und Prüfungsvorbereitung 45 contact hours + 50 hrs exercises + 55 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I, Analysis II Analysis I, Analysis II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering, Bachelor Mathematik Master Artificial Intelligence Engineering, Bachelor Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen grundlegenden Konzepte sowie Techniken der Approximationstheorie kennen. —	

	Students learn fundamental concepts and methods of approximation theory. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben den Umgang sowie die Kombination der Methoden der Approximationstheorie an ausgewählten Problemen, die sich auf verschiedene Bereiche der Mathematik stützen. — Students practice handling the methods developed and used in approximation theory, which are intimately related to various areas of mathematics. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, die Konzepte und Methoden der Approximationstheorie bei konkreten Fragestellungen zu klassischen sowie aktuellen Themen (etwa im Rahmen hochdimensionaler Probleme der Mathematik und angrenzender Gebiete) anzuwenden. — The students are able to approach classical and modern (e.g., high-dimensional) problems in mathematics and related fields by means of methods and ideas from approximation theory.
Inhalt Course content	Das Modul dient der Vermittlung von Grundlagen der klassischen Approximationstheorie. Darüber hinaus sollen auch modernere Aspekte der Approximationstheorie diskutiert werden. Das Modul beinhaltet ausgewählte Themen aus den Bereichen: The module introduces some fundamental ideas in classical approximation theory as well as some of its modern aspects. The module covers selected topics from: • Approximation by algebraic polynomials (1st Weierstrass theorem) • Trigonometric Polynomials (2nd Weierstrass theorem) • Characterization of best approximation • Lagrange, Chebyshev and Hermite interpolation • Orthogonal polynomials (Christoffel-Darboux Identity) • Entropy numbers and applications • General s-Numbers and applications
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten) 30-minute oral examination
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel/Tablet Presentation and projector, blackboard/tablet
Literatur Reading list	A Short Course on Approximation Theory, N.L. Carothers Modern Approximation Theory, J. Vybíral

6117 Convex Geometry and Applications to Linear Programming PN 472730	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Prochno
Dozent(in) Lecturer	Prochno, Sonnleitner
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	3V + 1Ü
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 40 Std. Übungen + 80 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 40 hrs exercises + 80 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I, Analysis I Linear Algebra I, Analysis I
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering, Bachelor Mathematik Master Artificial Intelligence Engineering, Bachelor Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen Grundkonzepte und -resultate der Konvexgeometrie und der Linearen Optimierung. — The students know fundamental concepts and statements of

	convex geometry and linear programming. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden üben anhand ausgewählter Probleme Begriffe und Methoden aus der Konvexgeometrie und der Linearen Optimierung einzuordnen und anzuwenden. Sie wenden diese an, um konkrete Fragestellungen zu beantworten. — The students practice on selected problems to classify and apply concepts and methods of convex geometry and linear programming. They apply these to solve concrete problems. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden sind in der Lage, die Konzepte und Methoden der Konvexgeometrie und der Linearen Optimierung bei konkreten Fragestellungen anzuwenden. — The students are able to apply concepts and methods of convex geometry and linear programming to concrete problems.
Inhalt Course content	Die Konvexgeometrie beschäftigt sich mit konvexen Mengen im euklidischen Raum und bildet die Grundlage der Konvexen Optimierung, wozu die Lineare Optimierung zählt. Dieser Zusammenhang wird durch Themenbereiche aus der folgenden Liste dargestellt: • Grundlagen der Konvexgeometrie • Geometrische Version des Satzes von Hahn-Banach • Satz von Krein-Milman über Extremalpunkte • Polytope und Polyeder • Grundlagen der Linearen Optimierung • Simplex Algorithmus • Farkas' Lemma • "Neighborly Polytopes" und dünne lineare Systeme — Convex geometry is concerned with convex sets in Euclidean space and forms the basis of convex optimization, of which linear programming is part. This relation will be demonstrated through topics from the following list: • Elementary convex geometry • Geometric Hahn-Banach theorem • Krein-Milman theorem on extreme points • Polytopes and Polyhedra • Linear programming basics • Simplex algorithm • Farkas' lemma • Neighborly Polytopes and sparse linear systems
Studien-/Prüfungsleistungen	Klausur (90 Minuten) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Mi-

Assessment	nuten) in deutscher oder englischer Sprache; die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written examination or oral exam (about 30 minutes) in German or English; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel/Tablet Presentation and projector, blackboard/tablet
Literatur Reading list	Skript / lecture notes Weiterführende Literatur wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben Additional reading material will be announced at the start of the semester

6120	Principles of AI Engineering	PN 455410
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Herbold	
Dozent(in) Lecturer	Herbold	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“, Modulgruppe „InfKomm“ Focus „ProgSoft“, Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Introduction to AI Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering, Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die grundlegenden Begriffe und Verfahren zur Entwicklung von Anwendungen mit Komponenten der Künstlichen Intelligenz (AI/KI) und wissen wie diese im Operativbetrieb eingesetzt werden können. Sie können zu gegeben Problemen geeignete Anforderungen an KI Systeme de-	

	finieren, eine geeignete Architektur auswählen und umsetzen, und die Qualität dieser Systeme sichern. Sie können nicht-funktionale Aspekte von KI-Systemen bewerten, um einen verantwortungsbewussten, ethischen, und mit regulatorischen Anforderungen kompatiblen Einsatz zu gewährleisten. — The students know the terminology and methods for the development of applications with components powered by Artificial Intelligence (AI) and how they can be used in operation. They know how to define requirements for AI systems, can define and implement suitable architectures, and ensure their quality of such systems. They can assess non-functional aspects of AI systems to ensure a responsible, ethical, and regulatory compliant use.
Inhalt Course content	Dieses Modul behandelt die Themen: • Requirements Engineering für Systeme mit KI Komponenten • Architektur und Design von Systemen mit KI Komponenten • KI Pipelines • Testen von KI Komponenten • Datenqualität • Continuous Deployment und MLOps • Verantwortungsbewusstes entwickeln von KIs • Ethische und regulatorische Aspekte von KIs — This module covers the following topics: • Requirements engineering for systems with AI components • Architecture and design of systems with AI components • AI/ML pipelines • Testing of AI components • Data quality • Continuous deployment and MLOps • Responsible development of AIs • Ethical and regulatory aspects
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio: Bearbeitung eines Semesterprojekts, nachgewiesen durch eine ca. 10-minütiges Kolloquium mit Präsentation und einen ca. 2-seitigen schriftlichen Bericht der eigenen Projektergebnisse am Semesterende. 60-minütige Klausur oder ca. 15 Minuten mündliche Prüfung jeweils in deutscher oder englischer Sprache. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben.

	— Portfolio: Implementation of a semester project completed with a presentation of approximately 10 minutes duration and a 2 page written report featuring a demonstration of results at the end of the semester. A 60-minute written or oral examination of approximately 15 minutes duration conducted either in German or English. The form of assessment is announced at the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Wird zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben

6121	Requirements Engineering	PN 455412
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Herbold	
Dozent(in) Lecturer	Herbold	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V+2Ü Für die Übungen im Rahmen der Lehrveranstaltung besteht Anwesenheitspflicht. Um den Erfolg der Veranstaltung zu gewährleisten, ist eine verstärkte Interaktion der Studierenden untereinander, aber auch zwischen Studierenden und Betreuern notwendig. Insbesondere arbeiten die Studierenden in einer Gruppe an einem das ganze Semester andauernden Projekt, in welchem gemeinsam Anforderungen erhoben, verfeinert, dokumentiert, und validiert werden. Im Rahmen dieser Projekte nehmen die Lehrenden die Rolle von Kunden ein. Die Kunden stehen unter anderem für Interviews und Verhandlungen im Fall von Konflikten, sowie zur Validation von Anforderungen zur Verfügung. Diese Interaktionen mit Kunden sind ein wesentlicher Bestandteil des Requirements Engineering. Ohne Anwesenheit kann daher nicht sichergestellt werden, dass der Einsatz der gelehrten Methoden erlernt wird, insbesondere was den Umgang mit Kunden angeht. — In this lecture's exercises, participants' attendance is mandatory. In order ensure the module's success, an intensified interaction amongst students but also between students and lecturers is essential. Most notably, participants collaborate within a group project throughout the entire semester in which they define, refine, document and validate requirements together. Within those projects, lecturer and teaching assistants assume the roles of clients who are primarily available for interviews,	

	negotiations in the event of conflicts as well as validation of requirements. Such forms of interaction with clients are crucial elements of requirements engineering. Without regular attendance, learning how to use the conveyed methods, in particular in dealing with clients, could not be warranted.
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden können die Begriffe Anforderung/Requirement und Requirements Engineering definieren und kennen die Prinzipien des Requirements Engineerings. Sie lernen den Requirements Engineering Prozess kennen und welche Rolle dieser in der Softwareentwicklung spielt. Sie kennen den Systemkontext und die Kontextgrenze, Methoden für die Erhebung von Anforderungen und für die Interpretation der erhobenen Informationen, Verhandlungsmethoden mit Stakeholdern, die Struktur von Anforderungsdokumentationen, Techniken für die Anforderungsdokumentation in natürlicher Sprache sowie für die modellbasierte Anforderungsdokumentation, Methoden für die Validierung von Anforderungen, sowie für das Management von Anforderungen, wie das Änderungsmanagement und die Nachverfolgung von Anforderungen. Für ein gegebenes Problem können die Studierenden die oben genannten Methoden anwenden, um eine geeignete Anforderungsdefinition zu entwickeln. — The students can define the terms requirement and require-

	ments engineering and acquire knowledge on the principles of requirements engineering. They become acquainted with the general requirements engineering process and know how it can be embedded into the overall software development process. They gain knowledge about the system context and context boundaries, requirements elicitation techniques, the interpretation of elicitation results, the negotiation of requirements with different stakeholders, the structure of documents for the requirements documentation, the requirements documentation in natural language, techniques for the use of structured natural language, the requirements documentation with models, the validation of requirements, managing changes to requirements, and tracing requirements through a development process. The students can apply the aforementioned methods to a given problem to derive a suitable requirements specification.
Inhalt Course content	Dieses Modul vertieft die Grundlagen der Softwaretechnik mit Details zum Umgang mit Anforderungen. Anforderungen werden am Beginn von Projekten erhoben und sind entscheidend für den Projekterfolg. Es wird ein vollständiger Requirements Engineering Prozess behandelt, von der Erhebung der Anforderungen, über die Dokumentation und Validierung der Anforderungen, bis hin zum Management der Anforderungen während des Software Lebenszyklus. — This module deepens the foundations of software engineering with details regarding requirements. Requirements are elicited at the beginning of a project and are crucial for its success. The module considers a complete requirements engineering process, starting with the elicitation of requirements, followed by the documentation and validation of requirements, up to the management of requirements throughout the software lifecycle.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio bestehend aus: Bearbeitung eines Semesterprojekts, nachgewiesen durch ein ca. 10-minütiges Kolloquium mit Präsentation und einen ca. 2-seitigen schriftlichen Bericht der eigenen Projektergebnisse am Semesterende. 60 Minuten Klausur oder ca. 15 Minuten mündliche Prüfung jeweils in deutscher oder englischer Sprache. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. — Portfolio examination including: Implementation of a semester project completed with a pre-

	sentation of approximately 10 minutes' duration and a 2 page written report featuring a demonstration of results at the end of the semester. A 60-minute written or oral examination of approximately 15 minutes' duration conducted either in German or English. The form of assessment is announced at the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Klaus Pohl, Chris Rupp: Requirements Engineering Fundamentals: A Study Guide for the Certified Professional for Requirements Engineering Exam - Foundation Level - IREB compliant Klaus Pohl: Requirements Engineering: Fundamentals, Principles, and Techniques

6122	Mining Software Repositories Lab	PN 455423
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Herbold	
Dozent(in) Lecturer	Trautsch	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	5Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 135 Std. Vor- und Nachbereitung 75 contact hours + 135 hrs independent study and implementation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Introduction to AI Engineering, Advanced Topics in Data Science, Kenntnisse in Python Software Engineering, Introduction to AI Engineering, Advanced Topics in Data Science, Python Programming Language	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden kennen praktische Anwendungen von Data Science und Machine Learning Techniken, um Fragestellungen aus dem Software Engineering basierend auf Daten aus Software Repositories zu bearbeiten. Sie lernen durch die Bearbeitung von Fragestellungen des Soft-	

	ware Engineerings den Prozess der Datenanalyse kennen und führen diesen selbstständig durch. Hierbei lernen die Studierenden geeignete Hypothesen zu definieren, benötigte Daten aus geeigneten Quellen zu sammeln, Analysemodelle zu erstellen inkl. des Trainings und der Auswertung von Modellen, die statistische Auswertung der Ergebnisse durchzuführen und die Ergebnisse zu präsentieren. — The students know practical applications of data science and machine learning techniques to answer questions about software engineering based on data from software repositories. They learn the process of repository data analysis through their work on software engineering topics. The students learn to define hypotheses, to collect data from suitable data sources, to create analysis models including their training and evaluation, to statistically assess results and to present their findings.
Inhalt Course content	Die Studenten arbeiten mithilfe von Daten aus Software Repositories in Gruppen an verschiedenen Fragestellungen aus der Software Engineering Forschung. Die Gruppen arbeiten im Verlauf des Kurses an unterschiedlichen Projekten. Für jedes Projekt bzw. Fragestellung müssen Daten extrahiert und transformiert bzw. bereinigt werden. Diese Daten müssen dann anhand der Fragestellung ausgewertet bzw. in einem Machine Learning Modell verarbeitet werden. Am Ende jedes Projektes stellen alle Gruppen Ihre Ergebnisse in einer Präsentation vor. — The students work in groups on different topics from software engineering research using software repository mining. The groups work on different projects during the course. For each project suitable data needs to be extracted, transformed, and/or cleaned. The data needs to be evaluated or used as input for a suitable machine learning model. At the end of each project, the groups present their results.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung basierend auf der Eignung, Implementierung, und Auswertungsmethodik der gewählten Methoden, den erzielten Ergebnissen, und der Präsentation der Projektergebnisse. Die Elemente des Portfolios sind: Der Quelltext inklusive Dokumentation, eine schriftliche Ausarbeitung zu den Projektergebnissen (max. 8 Seiten), Präsentationen der Projektergebnisse, sowie ein abschließendes Prüfungsgespräch (max. 10 Minuten) mit jedem Teilnehmenden. Bei Teampräsentationen muss jeder Teilnehmende den Eigenanteil am Projekt darstellen. Zusätzlich werden die Eigen-

	anteile in der Quelltextdokumentation und der Ausarbeitung schriftlich festgehalten. Details zur Bewertung werden zu Beginn der Lehrveranstaltung erläutert. — Portfolio exam based on the suitability, implementation and assessment refinement of the chosen methods, the achieved results, and communication/presentation of the project. The portfolio elements are: code with documentation, a written report on the outcome of the projects (max. 8 pages), presentations given over the course of the semester and a final examination conversation (max. 10 minutes) with each individual participant. Within the team presentations, each participant showcases her/his own personal contribution to the project. Additionally, participants declare in written form their individual contributions as part of the report and the code documentation. Details on the assessment including count and length of the presentations will be announced at the beginning of the course.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer Presentation with a projector
Literatur Reading list	Wird zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben Will be announced at the beginning of the lecture

6123	Deep Learning for Natural Language and Code	PN 472700
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Herbold	
Dozent(in) Lecturer	Herbold	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Introduction to Deep Learning	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering, Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die üblichen Aufgaben, die durch Verarbeitung von Text gelöst werden können, sowohl für die natürliche Sprache, als auch für Code. Sie kennen moderne auf Deep Learning basierende Verfahren zum Lösen dieser Probleme und können diese praktisch umsetzen. Sie wissen	

	welche Verfahren für eine gegebene Problemstellung geeignet sind und können diese auswählen. Sie kennen die Grenzen der Modelle und können die Güte der Ergebnisse bewerten. — The students know the typical tasks that can be solved through natural language and code processing. They know modern deep learning approaches to address these tasks and know how to implement them in practice. They know how select suitable methods for a given problem. They know the limitations of the models and can evaluate their performance.
Inhalt Course content	Dieses Modul behandelt die Themen: • Typische Aufgaben der Textverarbeitung • Word embeddings und Recurrent Neural Networks • Transformer und Pre-training • Encoder-only Modelle • Decoder-only Modelle • Encoder-decoder Modelle • Domainspezifische Modelle • Embeddings für Code • Transformer für Code • Multimodale Modelle — This module covers the following topics: • Typical tasks for language and code processing • Word embeddings and recurrent neural networks • Transformers and pre-training • Encoder-only models • Decoder-only models • Encoder-decoder models • Encoder-decoder models • Domain-specific models • Embeddings for code • Transformers for code • Multimodal models
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or 20-minutes oral examination; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard

Literatur Reading list	Wird zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben Will be announced at the beginning of the lecture

6124	Mining Software Repositories	PN 455433
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Herbold	
Dozent(in) Lecturer	Herbold	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 45 Std. Übungen + 75 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 45 hrs exercises + 75 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Datenquellen, aus denen man historische Daten über die Softwareentwicklung sammeln kann und können diese Daten mit Hilfe von geeigneten Werkzeugen sammeln. Sie können heuristisch Verknüpfungen zwischen gesammelten Daten finden sowie Informationen über Fehler ex-	

	trahieren. Die Studierenden kennen die üblichen Fehlerquellen der Heuristiken. Sie können qualitative Daten aus Repositories sammeln. Sie wissen, wie man diese Daten benutzt, um Fragestellungen über die Softwareentwicklung zu beantworten und können hierfür etablierte Verfahren anwenden. — The students know the data sources from which historic data about software development can be collected and know suitable tools to collect such data. They can use heuristics to detect links within this data and to collect information about bugs. They are aware of common sources of errors within these heuristics. They can qualitatively label data from software repositories. They know how to use data from software repositories to answer questions about software engineering and can apply suitable methods for this purpose.
Inhalt Course content	Dieses Modul behandelt die Themen: • Sammeln von Daten aus Softwarerepositories • Erkennen von Links zwischen verschiedenen Datenpunkten, zum Beispiel Commits und Issues. • Softwaremetriken • Sammeln von Daten über Softwarefehler • Fehler- und Rauschquellen in den Daten • Soziale Netzwerke in der Softwareentwicklung • Qualitatives codieren von Daten • Analyse von Daten aus Softwarerepositories. — This module covers the following topics: • Collection of data from software repositories • Detection of links between data points, e.g., commits and issues • Collection of data about software bugs • Sources of noise within the data • Social networks in software development • Qualitative coding of data • Analysis of data from software repositories
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or 20-minutes oral examination; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard

Literatur Reading list	Wird zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben Will be announced at the beginning of the lecture

6125	AI Engineering Lab	PN 455437
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Herbold	
Dozent(in) Lecturer	Trautsch	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	5Ü	
Arbeitsaufwand Workload	75 Std. Präsenz + 135 Std. Vor- und Nachbereitung 75 contact hours + 135 hrs independent study and implementation	
ECTS Credits	7	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Introduction to AI Engineering, Advanced Topics in Data Science, Python Programming Language	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erlernen die wichtigsten praktischen Implikationen durch den Einsatz von Machine Learning Komponenten in einem Softwareprojekten durch die Umsetzung eines Projekts. Relevante Aspekte, die durch den Einsatz von Machine Learning beeinflusst werden sind unter anderem die Auswirkungen auf die Anforderungsanalyse, Continuous Integration, Soft-	

	waretests und das UI Design. Die Studierenden müssen außerdem Machine Learning spezifischen Anforderungen spezifizieren, umsetzen, und deren Umsetzung überprüfen, unter anderem Fairness, Erklärbarkeit und der Notwendigkeit eines „human-in-the-loop“. Weiterhin müssen die Komponenten des Projektes evaluiert und überwacht werden können. — The students learn practical implications of combining/including machine learning parts in a software project through the implementation of projects. Among others, relevant aspects that are influenced by the use of machine learning that are considered during the projects are the implications for requirements, continuous integration, testing, and UI design. The students learn to specify, implement, and validate machine learning specific requirements like fairness, explainability or a “human-in-the-loop”. Their further evaluate and monitor the components of a project.
Inhalt Course content	Die Studierenden arbeiten in Gruppen und erstellen ein oder mehrere Projekte, welche ein oder mehrere Machine Learning Komponenten beinhalten. Jedes Projekt wird vollständig entwickelt, sodass es eine dem Projektziel entsprechende Nutzeroberfläche oder Programmierschnittstelle gibt. Das Projekt muss die vorgegebene Aufgabe für den Benutzer mit Hilfe der Machine Learning Komponenten erfüllen. Die Studierenden präsentieren den Projektfortschritt, die fertige Anwendung und welche Herausforderungen während der Entwicklung auf welche Art und Weise gelöst wurden. — The students work in groups, creating one or multiple projects which use one or multiple machine learning components. Each project is developed to completion, such that there is a user interface of or programming interface suitable to achieve the project goals. The students present their project progress, how they addressed challenges they faced during development, and the finished product.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung. Die Elemente des Portfolios sind: Der Quelltext inklusive Dokumentation, eine schriftliche Ausarbeitung zu den Projektergebnissen (max. 8 Seiten), Präsentationen der Projektergebnisse, sowie ein abschließendes Prüfungsgespräch (max. 10 Minuten) mit jedem Teilnehmenden. Bei Teampräsentationen muss jeder Teilnehmende den Eigenanteil am Projekt darstellen. Zusätzlich werden die Eigen-

	anteile in der Quelltextdokumentation und der Ausarbeitung schriftlich festgehalten. Details zur Bewertung werden zu Beginn der Lehrveranstaltung erläutert. Portfolio exam. The portfolio elements are: code with documentation, a written report on the outcome of the projects (max. 8 pages), presentations given over the course of the semester and a final examination conversation (max. 10 minutes) with each individual participant. Within the team presentations, each participant showcases her/his own personal contribution to the project. Additionally, participants declare in written form their individual contributions as part of the report and the code documentation. Details on the assessment will be announced at the beginning of the course.
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer Presentation with a projector
Literatur Reading list	Wird zu Beginn der Vorlesung bekannt gegeben Will be announced at the beginning of the lecture

6132	Random Graphs	PN 422140
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Glock	
Dozent(in) Lecturer	Glock	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	30+30 Std Präsenz, 90 Std Nacharbeitungszeit 30+30 contact hours, 90 hours independent study	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Graphentheorie, Einführung in die Stochastik Graph Theory, Introduction to Stochastics	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	The students get an overview over the binomial random graph model. They will be able to prove major results and apply them to specific problems. In addition, they will be able to illustrate one topic of Random graphs in a short essay.	
Inhalt Course content	The course covers the following topics: • The binomial random graph model • Concentration inequalities	

	• Sharp and coarse thresholds • Phase transition • Small subgraphs • Chromatic number • Spanning subgraphs
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Examination in two parts: Part 1 (80%): Oral exam (about 30 minutes) or written exam (120 minutes); the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester. Part 2 (20%): Written work (up to 10 pages) on a subject related to random graphs. To pass the examination, both parts have to be passed.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	Janson, Luczak, Rucinski: Random graphs, Wiley Frieze, Karonski: Introduction to random graphs, Cambridge University Press

6133	Combinatorial Number Theory	PN 455560
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Glock	
Dozent(in) Lecturer	Glock	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hours exercises + 90 hours independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I+II, Analysis I+II Linear Algebra I+II, Analysis I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben Fachwissen über die kombinatorische Zahlentheorie. Sie kennen wichtige Definitionen, Theoreme und deren Beweise. — The students acquire expertise on combinatorial number theo-	

	ry. They know important definitions, theorems and their proofs. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden besitzen die Fähigkeit, konkrete theoretische Fragestellungen, die einen engen Bezug zum Vorlesungsstoff haben, zu lösen. — The students have the ability to solve specific theoretical problems closely related to the lecture material. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz, Lösungsstrategien für komplexe Fragestellungen der kombinatorischen Zahlentheorie zu entwickeln. — The students have the competence to develop strategies for solving complex problems from combinatorial number theory.
Inhalt Course content	• Ramseytheorie für arithmetische Progressionen; • Littlewood-Offord Theorie; • Diskrete Fourier-Analysis und Satz von Roth; • Struktur der Mengen- Addition und Mengen- Multiplikation; • Verteilung der Primzahlen — • Ramsey theory for arithmetic progressions; • Littlewood-Offord theory; • Discrete Fourier Analysis and Roth's theorem; • Structure of set addition and set multiplication; • Distribution of prime numbers
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Die Prüfung besteht aus zwei Teilen: Teil 1 (80%): mündliche Prüfung (30 Minuten) Teil 2 (20%): ein Essay (ca. 10 Seiten) über ein Thema der kombinatorischen Zahlentheorie The examination consists of two parts: Part 1 (80%): oral examination (30 minutes) Part 2 (20%): a written work (about 10 pages) on a topic from combinatorial number theory.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	T. Tao, V. Vu: Additive Combinatorics Y. Zhao: Graph Theory and Additive Combinatorics

6140	Exemplary and Effective Programming	PN 413152
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Abbott	
Dozent(in) Lecturer	Abbott	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	1V+3P	
Arbeitsaufwand Workload	56 hours' lectures & project meetings; 124 hours' study & project work. • First phase: 4 weeks of lectures (4 hours/week) • Second phase: 10 weeks for individual programming projects: 2 hours/week group progress meeting, and 2 hours/week technical discussions. Projects involve implementing (in C++, using CoCoALib) advanced algorithms from computer algebra and/or number theory.	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Access to a development environment for C++ (req. C++14 standard) (e.g. g++ & make on linux, clang & make on MacOS, Cygwin environment on Microsoft) Masters students: access to profiling tools (e.g. gprof, valgrind and kcachegrind) Basic knowledge of procedural programming & classes (e.g. C++, Java or Python).	

	Basic algebra: finite fields, polynomial rings. Recommended: basic algebra & number theory, computer algebra. Not required: numerical analysis.
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik, Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering Bachelor Mathematics, Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Participants acquire experience programming in a team on an established body of software: how and when to interact with other team members (incl. bug-tracking tools); software quality guarantees (e.g. exception-safety, thread-safety); where and how to "optimizeän implementation; how to document program code, and how to read and interpret existing documentation; design of efficient and effective data-structures (i.e. "classesïn C++). Fähigkeiten / Abilities • Ability to work in an established team, planning and understanding different working roles. • Ability to give constructive criticism to other team members, and ability to accept constructive criticism from other team members. • Ability to faithfully represent advanced mathematical structures through programming object classes. • Ability to write high quality, maintainable software library code with documentation; incl. accurately delineating input conditions and output guarantees. • Ability to implement proper, comprehensive error handling (e.g. avoiding memory leaks, corrupt structures, dangling references, etc). • Ability to use compilation build systems, and understand error messages. • Ability to design thorough test suites (often in parallel with development and debugging). • (Master) Ability to determine where and how to "optimize" program code (incl. understanding trade-offs, and when not to "optimize") Kompetenzen / Competencies • Team membership: effective inter-communication. • Effective interface/API design (esp. ease of use). • Effective development (and debugging).

	• Effective documentation writing. • Effective reading & understanding of source code written by others. • Effective & safe use of on-line resources (e.g. cppreference, BOOST, StackOverflow). • Master only - Effective “optimization"(e.g. via profiling).
Inhalt Course content	Using C++ as a vehicle, participants acquire experience programming in a team on an established body of software: namely CoCoALib, an open-source C++ library for computations in commutative algebra, which already includes several fundamental data-structures and algorithms. Building on top of the foundations of CoCoALib, students are required to design and develop efficient, robust implementations of advanced algorithms from the realms of computer algebra and/or number theory. They will aspire to achieving quality high enough to permit incorporation into the CoCoALib library. Students gain practical knowledge: how and when to interact with other team members (incl. bug-tracking tools); software quality guarantees (e.g. exception-safety, thread-safety); how to document program code, and how to read and interpret existing documentation; design & testing of efficient and effective data-structures (i.e. "\classesïn C++). Masters only: where and how to "\optimizeän implementation (incl. using specific profiling tools).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Final oral presentation 30 min (incl. demo): Present what was achieved, and justify design decisions (with support from profiling tools for Masters students). If implementation incomplete, explain why. Potentially give ideas for future development. Deliver (electronic copy) source code of implementation & test suite. Deliver (electronic copy) documentation: both for users and for maintainers; helpful examples.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Kreuzer & Robbiano Computational Commutative Algebra (vols 1, 2) H. Cohen A Course in Computational Algebraic Number Theory V. Shoup A Computational Introduction to Number Theory and Algebra www.shoup.net S. Meyers Effective C++ (book series)

6141	Komplexitätstheorie Computational Complexity Theory	PN 482211
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller	
Dozent(in) Lecturer	Müller	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60+30 Präsenz, 120+60 Eigenarbeitszeit 60+30 contact hours, 120+60 independent study	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Theoretische Informatik, Mathematische Logik Theoretical Computer Science, Mathematical Logic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Vorlesung ist eine Einführung in das P versus NP Problem und die es umgebende Theorie. Die Studierenden lernen • algorithmische Ressourcen wie Laufzeit, Speicherplatz, Nichtdeterminismus, Alternierung oder Randomisierung von Algorithmen abzuschätzen. • die inherente Komplexität gegebener Berechnungsprobleme zu erkennen und via zentraler Komplexitätsklas-	

	sen zu klassifizieren. • theoretische Resultate zur Struktur dieser Komplexitätsklassen. — The course offers an introduction to the P versus NP problem and its surrounding theory. Students learn • to estimate algorithmic resources like runtime, memory, nondeterminism, alternation or randomness of algorithms. • to classify computational problems according to their inherent complexity and via complexity classes. • theoretical results concerning the structure of these complexity classes.
Inhalt Course content	Computational complexity theory aims to classify computational problems according to the algorithmic resources required for their solution. Resources are for example time, space, nondeterminism, or randomness. A central role is played by the class P of problems solvable in polynomial time. The central problem is the P versus NP problem, one of the Clay institute's millenium problems of mathematics, and, according to Smale, one of the three greatest open problems of mathematics. The course offers an introduction to this problem and its surrounding theory.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Schriftliche Klausur (120 Minuten) oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten). Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120-minute written or oral exam of about 30 minutes. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	Arora, Barak, Computational Complexity: A Modern Approach, Cambridge University Press, 2009. Papadimitriou, Computational Complexity, Addison-Wesley, 1995.

6142	Fortgeschrittene Komplexitätstheorie Advanced Computational Complexity Theory	PN 472710
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller	
Dozent(in) Lecturer	Müller	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungen, Nachbereitung der Vorlesung, Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hrs Exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Komplexitätstheorie oder Theoretische Informatik II Computational Complexity Theory or Theoretical Computer Science II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Students learn about advanced topics in computational complexity theory. In particular they learn various methods to prove lower bounds on circuit size. These include random restrictions and polynomial approximations. These broadly draw from	

	techniques from combinatorics, stochastics and algebra.
Inhalt Course content	The course treats advanced topics in computational complexity theory, it focusses on circuit lower bounds: Hastad's exponential lower bound for bounded depth circuits via the random restriction method, Razborov-Smolensky's lower bound for such circuits with modulo counting gates via the approximation method, and Razborov's lower bound for monotone circuits. However, for general circuits not even superlinear lower bounds are known today for explicit functions, and circuit complexity has been dubbed "complexity theory's Waterloo"(Arora-Barak). Meta-analyses show that superpolynomial lower bounds are unreachable by the approximation method (Razborov) or so-called natural proofs (Razborov-Rudich). As an algorithmic application of hardness hard we treat pseudorandom generators and derandomization, in particular the Nisan-Wigderson generator. The course is a continuation of Computational Complexity Theory. Knowledge of e.g. Theoretical Computer Science II is sufficient for a large part of the material, and students with this background are welcome. They are assisted in coping with eventual extra material.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Je nach Teilnehmerzahl mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten) oder Klausur (90 Minuten). Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minutes written exam or 30 minutes oral exam, depending on the number of participants. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	Arora, Barak, Computational Complexity: A Modern Approach, Cambridge University Press, 2009.

6143	Constraint Satisfaction Problems	PN 472720
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller	
Dozent(in) Lecturer	Gaysin	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Übungen, Nachbereitung der Vorlesung, Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 120 hrs Exercises, independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Komplexitätstheorie oder Theoretische Informatik II Computational Complexity Theory or Theoretical Computer Science II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Students learn how to model computational problems as Constraint Satisfaction Problems. They learn general methods to design algorithms for their efficient solution or to discern theoretical reasons for their intractability. They learn tools from universal algebra underlying these techniques.	

Inhalt Course content	A Constraint Satisfaction Problem (CSP) asks to decide whether there is an assignment to given variables, ranging over a certain domain, that satisfies a given set of constraints. Equivalently, this asks for a homomorphism between given structures. A famous example is the satisfiability problem for the Boolean domain (SAT). The story of CSPs started 50 years ago, and during the last 25 years CSPs play a prominent role throughout computer science. On the one hand, they allow to model a wide variety of combinatorial problems (in mathematics, computer science, artificial intelligence...) in a natural and faithful way. On the other hand, they come together with general algorithmic techniques for their solution, or general reasons for their computational hardness. These techniques are based on universal algebra.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Mündliche Prüfung, ca. 30 Minuten. Oral examination, ca. 30 minutes.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	-

6145	Fortgeschrittene Modelltheorie Advanced Model Theory	PN 455470

Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Kaiser, Müller
Dozent(in) Lecturer	Kaiser, Müller
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	30 +30 Std. Präsenz + 60 + 60 Std. Eigenarbeitszeit 30 + 30 contact hours + 60 + 60 hrs independent study
ECTS Credits	6
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Mathematische Logik, Modelltheorie, Algebra Mathematical Logic, Model Theory, Algebra
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Working knowledge of • abstract properties of axiom systems to analyze their type spaces and the class of their models • a general concept of dimension • the theory of uncountably categorical theories • applications to algebra

Inhalt Course content	Vector spaces over a given field are determined (up to isomorphism) by their dimension. Similarly, algebraically closed fields with a given characteristic are determined by their transcendence degree. In particular, these theories have exactly one model in each uncountable cardinality. What do these theories have in common that explains this similar behavior? The course gives an introduction to stability theory. In particular, it introduces a general notion of dimension. The central goal of the course is to prove Morley's theorem: if a theory has exactly one model of some uncountable cardinality, then this holds for all uncountable cardinalities.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Klausur doer mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben 120-minute written or 30-minute oral examination, the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Tafel Blackboard
Literatur Reading list	W. Hodges: A shorter model theory. Cambridge University Press, 1997. D. Marker: Model Theory: An introduction. Springer, 2002. K. Tent, M. Ziegler: A course in Model Theory. Cambridge University Press, 2002

6160	Cooperative Autonomous Vehicles	PN 455393
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Wird vermutlich nicht mehr angeboten Probably not offered anymore	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Vinel	
Dozent(in) Lecturer	Vinel	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“, Modulgruppe „ITS“ Focus „InfKomm“, Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie Basics of probability theory	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students acquire basic knowledge about cooperative automated/autonomous vehicles as well as advanced driver assistance systems. They learn about the concepts of cooperative awareness, collective perception, and cooperative maneuvering. They become familiar with inter-vehicular communication technolo-	

	gies. Fähigkeiten / Abilities Students acquire the abilities to apply discussed techniques for the performance evaluation of contemporary vehicle-to-everything communications standards. They are able to design protocols to support cooperative autonomous driving given specified application requirements and to assess cooperative autonomous driving scenarios in terms of their safety. Kompetenzen / Competencies Students learn to classify computation, communication and decision-making architectures for cooperative autonomous vehicles, evaluate advantages and disadvantages of cooperative maneuvering approaches, to select appropriate methods for the analysis of inter-vehicular communication protocols.
Inhalt Course content	The module includes the topics on vehicular automation levels, cooperative awareness and decentralized environmental notifications, collective perception, cooperative maneuvering, vehicular platooning, cooperative video systems, intelligent intersections, vehicle to mobile edge computing server connectivity, 5G vehicular communication paradigms, ITS-G5 communication standards, age-of-information and semantics aware communications.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90min Klausur 90min written exam
Medienformen Media used	Präsentation mit Beamer, Tafel Presentation with projector, blackboard
Literatur Reading list	Nach Ansage in der Vorlesung Announced during the lecture

6171	Data Visualisierung Data Visualization	PN 471760
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Sommersemester Every summer semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Heinzl	
Dozent(in) Lecturer	Heinzl, Gall	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlagen der Informatik, Software Engineering, Programmierung I + II Foundations of Computer Science, Software Engineering, Programming I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	After successful completion of the course, students are able to understand advanced theoretical concepts of data visualization. Furthermore, students can implement specific program-	

	ming tasks resulting from a scientific article.
Inhalt Course content	Data Visualization consists of a theoretical lecture part and a practical exercise part. The lecture part on Data Visualization contains of a series of lectures which take place throughout the semester. In these lectures advanced data visualization topics will be covered, such as visualization of graph data or spatio-temporal data, immersive analytics, cross virtuality analytics or visual analysis of non-destructive testing data in material sciences. The lecture introduces bridging data visualization concepts and further covers the following aspects in two parts: 1) Revisiting Important Visualization Areas: • Scientific Visualization comprises volume and flow visualization. Volume visualization on the one hand is focused on direct and indirect techniques but also explores underlying techniques such as ray casting for direct volume rendering, simple and advanced transfer functions, as well as iso-surfacing for indirect volume rendering. Flow visualization on the other discusses visual metaphors and techniques for direct and indirect flow visualization. Advanced concepts in terms of topology visualization will be discussed. • Information visualization: While information visualization targets the visualization of abstract data, with a specialization on graph data and networks. • Visual analytics and visual data science seek to facilitate analytical reasoning by interactive visual interfaces. It involves the use of visualization and interaction techniques to explore and analyze large, complex, and dynamic datasets, with the goal of gaining insights, making discoveries, and supporting decision making. 2) Advanced Visualization Concepts: • Visualization Design: Visualization Design: This chapter explores models for visualization design in order to justify the choices made when applying vis techniques in a (novel) application area, e.g., relating the visual encodings and interaction techniques to the requirements of the target task. • Biomedical visualization encompasses novel topics and approaches to enhance the understanding of biological and medical concepts and data. It involves data visualization of medical images (such as MRI or CT scans) or biological processes (such as the movement of molecules in the body). • Tensor visualization is the process of representing ten-

sors (multi-dimensional arrays of data) in a visual format. This chapter will present visualization concepts mainly focusing on tensors of second order as well as respective abstraction concepts. Novel tensor analysis techniques, concepts for analyzing tensor field topology, and new tensor visualization methods will be discussed

- Immersive (IA) and Cross Virtuality Analytics (XVA) are novel topics in visualization requiring suitable visual metaphors and interaction concepts for in depth analyses. IA is using engaging, embodied analysis tools to support data understanding and decision making. XVA is concerned with systems for data visualization and analysis that seamlessly integrate different visual metaphors and devices along the entire RVC to support multiple users with transitional and collaborative interfaces analysis that seamlessly integrate different visual metaphors and devices along the entire RVC to support multiple users with transitional and collaborative interfaces.
- Visual Computing in Materials Science: Visual computing has become highly attractive for boosting research endeavors in the materials science domain. Using visual computing, a multitude of different phenomena may now be studied, at various scales, dimensions, or using different modalities. This was simply impossible. Visual computing techniques generate novel insights to understand, discover, design, and use complex material systems of interest.
- Visualization and Decision-Making Design Under Uncertainty: Visualization is a core component of any decision or risk analysis process. Respective tools for this purpose are becoming increasingly accessible. In addition, the visual literacy of the general public has been increasing due to the pervasiveness of visualizations in everyday life. As the appetite for decision making tools grows, so does the need to convey error, confidence, missing, or conflicting data visually.

The exercise part will pose a "VIS Challenge" to the students. It requires the students to propose and implement their solutions to given challenges in visualization. This VIS Challenge consists of the implementation of a state-of-the-art visualization technique based on a scientific article. Students choose from a shortlist of given scientific papers (i.e., 2-3 recent high impact articles). The students first need to read and understand the given article. They need to present their proposed concepts with respect to the article's main ideas in the form of

	paper prototypes. After a feedback loop the implementation will starts. There are no requirements regarding programming languages, however recommendations on languages, tools, libraries, etc. will be given. The exercise is ideally implemented in groups of two. The exercise is continuously supported by a tutor. For a positive grade, both lecture and exercise must be completed positively!
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio The grade for Data Visualization will be based on the practical implementation work and the theoretical knowledge. The performance evaluation of the exercise course focusses on the implemented programming tasks in terms of the selected visualization paper. For a positive assessment, the students must present the selected article and their implementation concepts. The implementation quality, functionality, and usability as well as the documentation of code and functionality will be evaluated. Finally, the students will present and demonstrate their final implementation. The score for the grading results is given as follows: • 1st presentation of the article incl. implementation concept (10 points) • Implementation of the article's underlying technique (45 points) • Functionality and usability (15 points) • Documentation of code + functionality (10 points) • 2nd presentation and demonstration of the implementation (20 points) The lecture part will be evaluated in an oral exam (approx. 15 min) of the presented lecture content, in which the achievement of the teaching objectives will be checked. For a positive evaluation of Data Visualization, both exercise and lecture have to be completed positively.
Medienformen Media used	The material is organized in thematic groups and presented by means of electronic slides. A practical design and implementation project allows students to develop their analytical skills and deepen their programming knowledge.
Literatur Reading list	Chen, Hauser, Rheingans, Scheuermann: Foundations of Data Visualization, 2019 Telea: Data Visualization – Principles and Practice, Second Edition AK Peters Verlag, 2014. Munzer: Visualization Analysis and Design, AK Peters Verlag, 2014. Hansen, Johnson: The Visualization Handbook, 2005

	Hansen, Chen, Johnson, Kaufman, Hagen: Scientific Visualization - Uncertainty, Multifield, Biomedical, and Scalable Visualization, 2014 Kim Marriott, Falk Schreiber, Tim Dwyer, Karsten Klein, Nathalie Henry Riche, Takayuki Itoh, Wolfgang Stuerzlinger, Bruce H. Thomas, Immersive Analytics, 2018 Keim, Kohlhammer, Ellis, Mansmann: Mastering the Information Age - Solving Problems with Visual Analytics, 2010 Ward, Grinstein, Keim: Interactive Data Visualization: Foundations, Techniques, and Applications, 2010. Ware: Information Visualization, Second Edition: Perception for Design, 2004 Aigner, Miksch, Schumann, Tominski: Visualization of Time-Oriented Data, Springer Verlag, 2011 Further materials in the lecture slides

6172	Immersive Analytics	PN 455560
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Wintersemester Every winter semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Heinzl	
Dozent(in) Lecturer	Heinzl	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Data Visualization, Grundlagen der Informatik, Software Engineering, Programmierung I + II Data Visualization, Foundations of Computer Science, Software Engineering, Programming I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	At the end of the course students will be able to understand theoretical concepts of immersive analytics. Furthermore, students can implement specific programming tasks resulting from a scientific topic or article.	

Inhalt Course content	Immersive Analytics consists of a theoretical lecture part and a practical exercise part. The lecture part contains of a series of lectures which take place throughout the semester. In these lectures, theoretical and advanced immersive analysis and visualization topics will be covered. The lecture introduces covers the following aspects: • Introduction to Immersive Analytics: Students learn the basic principles of immersive analytics together its goals and opportunities, some historical context as well as the broad research agenda of this field. A review on the terms of immersion and engagement is given. • The value of 3D in information visualization: While Information visualization is typically used in conventional 2D displays and modern virtual reality in for 3D data, this part explores potential benefits for immersive analytics in information visualization settings. • Multisensory immersive analytics introduces concepts and backgrounds on visual representations, sonification and auralization, haptic displays, smell/olfaction, as well as taste/gustation. Furthermore, the design of respective systems will be reviewed integrating immersive analytics and modalities of non-visual immersive analytics. • Interaction in immersive analytics is a major component within the analysis workflow. Basic opportunities, requirements and tasks will be reviewed in order to culminate in natural user interfaces (NUP) and post WIMP (windows, icons, menus, pointer) interaction as well as respective designs and setups. • Immersive human centered computational analytics: Here, the role of humans in a human-machine cooperative analysis will be addressed by first reviewing the classic loop of sensemaking in visual analytics, collaborative humans-machine analysis and finally related design principles. • Immersive visual data stories: Visual data driven stories are an important means for communicating information. Here, the challenges and opportunities of immersion are discussed considering games research and related interaction concepts. • Situated analytics: The concept of situated analytics is introduced in this section, employing data representations organized in relation to germane objects, places

	or persons for the purpose of understanding, sense- and decision making. • (Collaborative) cross virtuality analytics enables visual analytics to use transitional and collaborative interfaces interconnecting different stages in the reality–virtuality continuum to seamlessly integrate different devices and support multiple users. Insights are provided into respective visualization and interaction techniques. • Applications of Immersive Analytics: Finally, applications of immersive analytics various domains are discussed, such as life and health sciences or applications in engineering from materials science, production engineering towards sustainable cities and cultural heritage. The exercise part will pose an „Immersive Analytics Challenge“ to the students. In addition to the initial task to be completed in the form of standard exercises, it also requires proposing and implementing own solutions to given challenges in the field of immersive analytics. These challenges focus on the implementation of state-of-the-art techniques typically based on recent scientific articles. The students need to present their proposed concepts with respect to the articles' main ideas. After a feedback loop the implementation starts. Programming skills are thus mandatory and previous knowledge of C# and Unity is advantageous. An introduction to Unity will be offered in the tutorial of the course. Furthermore, the exercise course is typically implemented in groups of two and continuously supported by a tutor.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	The grade for Immersive Analytics will be based on the practical implementation work and the theoretical knowledge. Part 1 (50%): Portfolio (Practical Implementation) The performance evaluation of the exercise course focusses on the implemented programming tasks in terms of the Immersive Analytics Challenge. For a positive assessment, the students must present their implementations. The implementation quality, functionality, and usability as well as the documentation of code and functionality will be evaluated. Finally, the students will present and demonstrate their implementation. The score for the grading results is given as follows: • Presentation of initial exercises incl. concept regarding the immersive analytics challenge • Presentation and demonstration of the final implementation • Implementation of the proposed techniques • Functionality and usability

	• Documentation of code Part 2 (50%): Oral exam or written exam (Theoretical Knowledge) The lecture part will be evaluated in an oral exam (approx. 20 min) of the presented lecture content or in a written exam (90 minutes), depending on the number of participants, in which the achievement of the teaching objectives will be checked. The students will be informed about the exact type of exam at the beginning of the semester. To pass the examination, both assessment components have to be passed.
Medienformen Media used	The material is organized in thematic groups and presented by means of electronic slides. Initial exercise tasks together with a practical design and implementation project allows students to develop their analytical skills and deepen their programming knowledge.
Literatur Reading list	• Marriott, Dwyer, Riche, Stuerzlinger: Immersive analytics, 2018 • Min Chen, Helwig Hauser, Penny Rheingans, Gerik Scheuermann, Foundations in Data Visualization, 2019 • Fröhler, B., Heinzl, C. (2022), A Survey on Cross-Virtuality Analytics. Computer Graphics Forum, 41: 465-494. https://doi.org/10.1111/cgf.14447 • Unraveling the Design Space of Immersive Analytics: A Systematic Review. I https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3327368 • Grand Challenges in Immersive Analytics. https://doi.org/10.1145/3411764.3446866 • Survey of Immersive Analytics. https://doi.org/10.1109/tvcg.2019.2929033 • Immersive Analytics of Multidimensional Volumetric Data. https://doi.org/10.34726/hss.2021.86329 Further materials in the lecture slides

6179	Project in Visual Computing	PN 455419
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Normalerweise jedes Semester Typically every semester	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Heinzl	
Dozent(in) Lecturer	Heinzl	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2Ü+2P	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 60 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Grundlagen der Informatik, Software Engineering, Programmierung I + II Foundations of Computer Science, Software Engineering, Programming I+II	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	After positive completion of the course, students are able to perform and realize a reasonably sized software project in the area of visual computing or visualization. Students will be able to plan and execute respective tasks and implement visual computing techniques and methods in a prototypic system. After this practical course they are able to...	

	• analyze problems in the field of visual computing • design effective visualization concepts to solve them • implement these concepts using state-of-the-art libraries • create evaluation designs of visualization techniques
Inhalt Course content	Visual computing integrates computer science disciplines dealing with the acquisition, the analysis and the synthesis of (visual) data using computing resources in applications such as industrial quality control, medical image and data analysis, robotics, multimedia systems, computer games, etc.. Aside others, visual computing thus covers aspects from image processing, visualization, computer graphics, computer vision, virtual and augmented reality, pattern recognition, machine learning, as well as human computer interaction. This project targets the implementation of a larger, technically oriented project in the field of visual computing or visualization. The topics and contents of the project will be agreed upon individually with the supervisor and should cover a topic of mutual interest in visual computing. Didactic approach: In regular meetings with the supervisor (usually every one to two weeks), the individual steps of the software project to be completed are discussed. This includes: • Creation of a specification sheet • Rough draft • Detailed design • Implementation details • Test scenarios • Creation of results • Completion of project documentation • Final meeting • Presentation and discussion of the results It is intended that the assignment will be worked on in groups of **two students**.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio. The following items will be evaluated: Implementation and quality of the software project Presentation of the software project Discussion and defense of the chosen approach Evaluation of oral and written performance in the submission discussion, demonstration of the developed prototype and project documentation.
Medienformen Media used	Presentations
Literatur Reading list	Originial works

6195 Integraltransformationen und Computertomographie Integral Transforms and Computed Tomography	PN 482301
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Sauer
Dozent(in) Lecturer	Sauer
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation
ECTS Credits	9
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I+II, Lineare Algebra, Bildverarbeitung Analysis I+II, Linear Algebra, Image Processing
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden erwerben Kenntnisse der mathematischen Grundlagen der Integraltransformationen und deren Anwendung in der Computertomographie. Sie kennen die wichtigsten Verfahren in Theorie und numerischer Umsetzung.

	— The students acquire knowledge of the mathematical foundations of Integral Transforms and Computed Tomography. They know the most important algorithms in theory and numerical realization. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden besitzen die Fähigkeit, die Argumente der Beweise nachzuvollziehen, und gegebenenfalls anwendungsbezogen weiterzuentwickeln und können auf der Basis dieses theoretischen Verständnisses numerische Verfahren entwickeln. — The students have the ability to follow the arguments of the proofs, to extend them in an application context and to develop numerical algorithms based on their understanding of the theory. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden besitzen die Kompetenz, komplexe mathematische Konzepte in einem Anwendungsgebiet praktisch umzusetzen. — The students have the competence to provide a practical realization of complex mathematical concepts in the context of an application.
Inhalt Course content	The Fourier transform; The Radon Transform; Fundamentals of Signal Processing; Filtered Backprojection; Algebraic Reconstruction Techniques; Inverse Problems; Beamforms and Scan Geometries
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written or approximately 20-minutes oral examination; the precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	Natterer, Computed Tomography Helgason, Todd Quinto, Inverse Problems

6200	Kamerakalibrierung und 3D-Rekonstruktion Camera Calibration and 3-D Reconstruction	PN 455395

Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Jahr Every year
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hanning
Dozent(in) Lecturer	Hanning
Sprache Language of instruction	Deutsch German
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“
Lehrform/SWS Contact hours	2V
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 60 Std. Nachbearbeitung des Vorlesungsstoffs und Prüfungsvorbereitung 30 contact hrs. + 60 hrs. lecture follow-up and exam preparation
ECTS Credits	3
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II oder äquivalent Analysis I + II, Linear Algebra I + II or equivalent
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden kennen die Parameter des Lochkameramodells mit Verzeichnung und kennen Vorbedingungen und Verfahren diese aus Bilddaten zu bestimmen. Des Weiteren kennen sie die Grundaussagen zur 3D-Rekonstruktion aus Bildern

	von Laserlichtschnittsensoren, sowie aus mehreren Ansichten mit kalibrierten und unkalibrierten Kameras. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können die Parameter der Kameraabbildung bestimmen und 3D-Rekonstruktionsprobleme lösen. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden können Algorithmen zur Kamerakalibrierung und 3D-Rekonstruktion implementieren, bewerten und sind in der Lage die Genauigkeitsgrenzen abzuschätzen.
Inhalt Course content	Die projektive Vervollständigung des R^2 Anwendung: Kalibrierung eines Laserlichtschnittsensors Die projektive Vervollständigung des C^2 und C^3 Das Lochkameramodell mit Verzeichnungen Projektive Formulierung des Lochkameramodell Kamerakalibrierung • Herleitung notwendiger Bedingungen aus der projektiven Formulierung des Lochkameramodells • Fehlerfunktion des nicht-linearen Optimierungsproblems 3D-Rekonstruktion • Monokulare 3D-Rekonstruktion • Das Stereokameramodell • Epipolarbedingungen • 3D-Rekonstruktion aus Stereobilddaten
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 20 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written examination or 20-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer Presentation and projector
Literatur Reading list	Skript Hartley, Zisserman, „Multiple View Geometry“

6205	Energy Informatics I	PN 455415
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	de Meer	
Dozent(in) Lecturer	de Meer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60h Präsenz + 50h Übungslösungen + 70h für Vorlesungsthemen und Prüfungsvorbereitung 60 hours of presence + 50 hours for solution to exercises + 70 hours for lecture topics and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Software Engineering, Computer Networking, IT Security	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Understanding of the relationship between IT and energy systems including resource utilization and fundamental methodologies, concepts, protocols and reference architectures used in the context of smart grids: • Understanding the relationship and responsibilities of	

	actors in energy economics for use case analysis • Studying and modelling of variable renewable energy sources, forecast and power flexibility • Knowledge of the communication architectures for smart grids, especially detailed understanding of the smart grid architecture model and how to apply it with model-driven development • Understanding of the main protocols and standards used for information gathering, data analysis and communication in smart grids Fähigkeiten / Abilities Selecting and applying appropriate methods for modelling renewable energy sources and flexibility from e.g. battery storages or combined heat and power plants. Designing the overall architecture of smart grid applications with a focus on exchange of information and communication infrastructure technologies using the Smart Grid Architecture Model. Identification of the most important standards for the communication infrastructure of a smart grid. Application of software tools for grid monitoring, distributed smart grid control, and grid management. Kompetenzen / Competencies Classification of methods and techniques for modelling renewable energy sources and flexibility in the smart grid. Deep understanding of the communication architectures used for the smart grid: motives behind energy business actors and components, available standards, and pros and cons of different architectures and communication protocols for different applications in the smart grid. Understanding different smart grid applications in the context of the smart grid architecture model.
Inhalt Course content	In this lecture, we focus upon what differentiates the smart grid from the "traditional"power grid as it has been known for the last century. Furthermore, we provide the students with a fundamental understanding of energy economics, smart grid architecture and a focus on the communication and networking sides. We will focus on the question how ICT can serve the energy system and how the different parts of the smart grid can be modelled appropriately. In this lecture, we discuss three main parts: First, we discuss the evolution of energy systems and their market actors. This includes challenges and solution approaches on integrating renewable energy sources in a smart grid using modelling of both energy sources and models for power flexibility such as storage systems or electric vehicles.

	Part two introduces the smart grid architecture model (SGAM), which helps us to allocate the smart grid actors and components, as well as to depict the requirements of smart grid applications on the information and communication technology and standards. The application of the SGAM on a selected smart grid use case deepens its understanding. In the third part, we discuss different communication technologies that can be used in the context of the smart grid. Finally, we focus on several smart grid use cases for which a review of relevant communication standards is conducted. Thereby, relevant protocols are discussed in detail and are analyzed in terms of applicability, communication technology and IT-security.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 minutes written or 20 minutes oral exam (in English) or portfolio. The students will be informed about the exact type of exam by the beginning of the semester. A portfolio examination may contain tasks that relate to a project that uses the smart grid architecture model as basis and may consist of: • Written or oral partial examination • Documented and executable source code for tasks with tools • Live demonstration of task solutions • Summary of relevant research papers with topics of the module • Technical report • Ongoing technical sub-reports for a final summary into a complete document • Presentation of created material with use of suitable presentation techniques, e.g. PowerPoint, Live-Coding, Whiteboard, Flipchart The work on the portfolio will be carried out parallel to the lecture and the final submission of the portfolio will take place no later than 4 weeks after the end of the lecture period. The lecturer will announce the exact requirements for the portfolio at the beginning of the course.
Medienformen Media used	Präsentation mit Overheadprojektor, Tafel Presentation on projector, blackboard
Literatur Reading list	Christian Neureiter. A Domain-Specific, Model Driven Engineering Approach for Systems Engineering in the Smart Grid. November 2017 Momoh, James. Smart grid: fundamentals of design and analysis. Vol. 63. John Wiley & Sons, 2012. Additional literature will be referenced in the lecture material

6206	Data on the Web	PN 455417
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Scherzinger	
Dozent(in) Lecturer	Nečaský	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Datenbanken und Informationssysteme, Algorithmen und Datenstrukturen, Web und Data Engineering Databases and Information Systems, Algorithms and Data Structures, Web and Data Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students acquire a systematic understanding of publishing and sharing data on the web. They know basic and advanced models and formats for representing data on the web as know-	

	ledge graphs, the principles for achieving data interoperability through ontologies, and advanced technologies for querying the data. Fähigkeiten / Abilities The students can identify, understand, and access/query data published on the web (REST, SPARQL). They can also publish their data in an interoperable way exploiting existing and designing their ontologies to describe the data. They can combine data from different data sources into a single knowledge graph and query it. Kompetenzen / Competencies The students have the competence to select appropriate technologies for publishing and consuming data on the web, design ontologies to describe the data, and design and execute queries (SPARQL) on top of the data.
Inhalt Course content	This module focuses on the principles of sharing data on the web through REST and Linked Open Data APIs. It shows suitable data formats for publishing data on the web, explains the role of ontologies and data vocabularies in improving data interoperability, and presents how to consume data using the SPARQL query language.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Teil 1: Mind. 50% der Punkte aus kleinen praktischen Aufgaben aus den Übungen, z. B. die Arbeit mit einem speziellen System. Die Projektarbeit kann während der Übungen oder im Selbststudium zu Hause erbracht werden. Nicht Teil der Endnote. Teil 2: Eine benotete 60minütige schriftliche Klausur, die die Terminologie und theoretischen Prinzipien prüft. Die Punkte für die Endnote werden wie folgt berechnet: Teil 1 wird als bestanden/unbestanden gewertet und muss bestanden werden. Teil 2 wird mit einer Note bewertet. Part 1: At least 50% of points from small practical assignments from the labs, i.e., work with the particular systems. Can be done during the exercises or as homework. Not a part of the final grading. Part 2: A graded 60-minute written examination of terminology and theoretical principles. The points for the final grade are computed as follows: Part 1 is pass/fail, and must be passed. Part 2 is graded.
Medienformen Media used	Vorlesungen, Präsentation und Demonstrationen mit Projektor, Tafel, praktisches Seminar, ein Computerlabor mit einem Webbrowser auf jedem Computer, ein (virtueller) Server mit

	einem RDF-Datenbankserver (z. B. GraphDB Free), der von den Computern im Labor zugänglich ist Lectures, presentation and demonstrations with a projector, blackboard, practical seminar, demonstrations with a projector, students work on exercises using their own laptops
Literatur Reading list	Tom Heath and Christian Bizer. Linked Data: Evolving the Web into a Global Data Space. Synthesis Lectures on the Semantic Web: Theory and Technology, Morgan & Claypool. 2011 Bob DuCharme. Learning SPARQL: Querying and Updating with SPARQL 1.1. O'Reilly Media, Inc. 2013 Panos Alexopoulos. Semantic Modeling for Data. O'Reilly Media, Inc. 2020 Mayank Kejriwal, Craig A. Knoblock, Pedro Szekely. Knowledge Graphs (Adaptive Computation and Machine Learning series). MIT Press. 2021

6208	Machine Learning Control and Optimization	PN 455398
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Wirth	
Dozent(in) Lecturer	Wirth	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60+30 Std. Präsenz + 90+90 Std. Eigenarbeitszeit 60+30 contact hours + 90+90 hours lecture and tutorials follow-up and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I + II, Analysis I + II, Gewöhnliche Differentialgleichungen, Optimierung *oder* Mathematik in Technischen Systemen I – III sowie Mathematische Systemtheorie — Linear Algebra I+II, Analysis I+II, Ordinary Differential Equations, Optimization *or* Mathematics in Technical Systems I-III and Mathematical Systems Theory	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden verstehen die grundlegenden Prinzipien der	

	datenbasierten Regelung dynamischer Systeme. Dazu kennen sie Methoden zur Behandlung von Datensätzen und zur datenbasierten Identifikation dynamischer Systeme. Ferner verfügen sie über relevante Techniken der mathematischen Optimierung. Sie sind in der Lage stabilisierende, datenbasierte LQR-Regler zu entwerfen. — The participants are familiar with the fundamental concepts of data-based control. They know methods from data analysis and data-driven system identification of dynamical systems. They are able to apply relevant techniques from optimization. Also they can design stabilizing, data-based LQR controllers. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden beherrschen die Grundsätze der Datenkompression, sowie der Gruppierung von Daten. Sie sind in der Lage entsprechende Verfahren auf gegebene Datensätze anzuwenden. Zudem können die Studierenden unterschiedliche Verfahren zur Identifikation dynamischer Systeme auf gegebene Datensätze anwenden. Ebenso können sie Regelungsaufgaben datenbasiert formulieren und beherrschen wesentliche Ansätze für den datenbasierten Reglerentwurf. — The participants can analyze given data sets with respect to dimensionality reduction and clustering. They can apply different techniques for data-based system identification. They can design algorithms for these purposes. They are capable of formulating various data-driven control tasks and are able to design appropriate data-based controllers.
Inhalt Course content	Datenkompression, Hauptkomponenten-Analyse, Gruppierung, Lloyd Algorithmus, Support-Vector Machines, Kern-Trick, Eigensystem-Realisierungsalgorithmus. Beobachter-Kalman Filter Identifikation. Zusammenhang zwischen Systemidentifikation und der Koopman Operatortheorie. Datenbasierte Regelung, linear-quadratische optimale Steuerung, Dateninformativität, Semi-Definite Programme, stochastische Gradientenverfahren — Dimensionality reduction, principal component analysis, clustering, Lloyd's algorithm, support vector machines, kernel trick, eigensystem realization algorithm. Connection between system identification and Koopman operator theory, observer-Kalman filter identification. Data-driven linear-quadratic regulator problem, data informativity, semi-definite programming, stochastic gradient descent

Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 min Klausur oder ca. 30 min mündliche Prüfung. Die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 90-minute written examination or 30-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the beginning of the semester
Medienformen Media used	Tafel, Beamer, Vorlesungsskript, Übungsblätter Blackboard, projector presentation, lecture notes, exercise sheets
Literatur Reading list	S.L. Burton, J.N. Kutz: Data-Driven Science and Engineering: Machine Learning, Dynamical Systems and Control, Cambridge University Press, 2019. De Persis, C., Tesi, P.: Formulas for Data-Driven Control: Stabilization, Optimality and Robustness, IEEE Transactions on Automatic Control 65 (3): 909 – 924, 2020. van Waarde, H., Eising, J., Trentelman, H., Camlibel, K.: Data Informativity: A New Perspective on Data-Driven Analysis and Control. IEEE Transactions on Automatic Control 65 (11): 4753 – 4768, 2020.

6209	Principles of Data Organisation	PN 472740
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Scherzinger	
Dozent(in) Lecturer	Škoda	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Datenbanken und Informationssysteme Undergraduate database course	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	The aim of the course is to provide an overview of the basic principles of data organization. In the first part, students get acquainted with the basic methods of data storage and file organization types. We will also focus on data structures for efficient access to data, i.e. basic types of hashing and hierarchical indexing, including their use in traditional, primarily	

	relational database systems. In the last part, we will focus on more advanced principles of data organization in the context of spatial distributed databases.
Inhalt Course content	Introduction, organisation of the course. Data storage, HDD, SSD, RAID File organisation Hashing in internal and external memory Hierarchical indexing, B-trees Spatial databases Distributed databases
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Part 1: 30-minute, written single-choice assessment of terminology and theoretical principles Part 2: 60-minute written examination, assessing practical problem-solving skills The points for the final grade are computed as follows: Part 1 is pass/fail, and must be passed. Part 2 is graded.
Medienformen Media used	Tafel, Projektor Blackboard, projector
Literatur Reading list	Raghu Ramakrishnan, Johannes Gehrke: Database management systems (3. ed.). McGraw-Hill 2003. Ausgewählte Forschungsartikel / selected research articles.

6210	Semantic Data Integration	PN 473270
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Algergawy	
Dozent(in) Lecturer	Algergawy	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Datenbanken und Informationssysteme, Algorithmen und Datenstrukturen, Web und Data Engineering Databases and Information Systems, Algorithms and Data Structures, Web and Data Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students acquire a systematic understanding how to combine and integrate different data sources using a broad range of techniques for data integration. During the integration pro-	

	cess, the students will know basic and advanced models and formats for representing data, how to identify and discover data and semantic heterogeneities across different data sources, the principles for achieving data interoperability through ontologies, and advanced technologies for querying the data. Fähigkeiten / Abilities The students can identify, understand, and access/query different data sources (conjunctive queries, XQuery, and SPARQL). They can also identify and discover different heterogeneities across data sources, how to resolve these kinds of heterogeneities through schema and ontology matching. They can combine data from different data sources into a mediated schema making use of discovered matches and query it. Kompetenzen / Competencies The students obtain the competency to select appropriate technologies for identifying and discovering data and semantic heterogeneities through schema and ontology matching, design ontologies to describe the data, and design and execute queries on top of the data.
Inhalt Course content	This module focuses on the principles of data integration describing the importance of data integration in different applications and use cases. Different schemes of integration such virtual and physical data integration will be covered. The course will further focus on virtual and web data integration. Further topics covered are various aspects of data integration, such as data and semantic heterogeneities, schema and ontology matching, and the role of semantics and ontologies in improving data integration and data interoperability.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90-minütige Klausur 90-minute written examination
Medienformen Media used	Vorlesungen, Präsentation und Demonstrationen mit Projektor, Tafel, praktisches Seminar, Tool-Demonstrationen über Beamer, Studierende arbeiten an praktischen Übungen an ihren eigenen Geräten Lectures, presentation and demonstrations with a projector, blackboard, practical seminar, demonstrations with a projector, students work on exercises using their own laptops
Literatur Reading list	AnHai Doan, Alon Halevy, Zachary Ives: Principles of Data Integration. Morgan Kaufmann, 2012. Barbella, Marcello, and Genoveffa Tortora. Ä Semi-automatic Data Integration Process of heterogeneous databases." Pattern Recognition Letters (2023). Ulf Leser, Felix Naumann: Informationsintegration. Dpunkt

	Verlag, 2007. Luna Dong, Divesh Srivastava: Big Data Integration. Morgan & Claypool, 2015. Serge Abiteboul, et al: Web Data Management. Cambridge University Press, 2012. Mountantonakis, Michalis, and Yannis Tzitzikas. "Large-scale semantic integration of linked data: A survey." ACM Computing Surveys (CSUR) 52.5 (2019): 1-40. Jérôme Euzenat, Pavel Shvaiko: Ontology Matching. Springer, 2007. Felix Naumann: An Introduction to Duplicate Detection. Morgan & Claypool, 2012.

6211	Management of Scientific Data	PN 472780
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Algergawy	
Dozent(in) Lecturer	Algergawy	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Datenbanken und Informationssysteme, Algorithmen und Datenstrukturen, Web und Data Engineering Databases and Information Systems, Algorithms and Data Structures, Web and Data Engineering	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge The students gain a systematic understanding of the main components of data lifecycle in research data management starting from research data planning to data archiving, inte-	

	gration and sharing. During the exploration of research data lifecycle, the students will know basic and advanced models and techniques to write a good research data plan, to well describe and organize scientific data using different and standard metadata, to examine scientific data to ensure data quality, and to select suitable stores for data preserving. Fähigkeiten / Abilities By completing this course, students will get to know the whole range of procedures with regard to research data management, i.e. data planning, data collection, metadata management, data preservation, data sharing, re-usability and storage of data, enhancement of visibility and data analysis and synthesis issues. Kompetenzen / Competencies The students obtain the competency to select appropriate technologies to provide well organised, well documented, preserved and shared data that are invaluable to advance scientific inquiry and to increase opportunities for learning and innovation.
Inhalt Course content	This module focuses on the main components of research data lifecycle, including the followings: • Research data management, in general • Data management plans • Date description and metadata standard • Data organization and data storing • Data quality • Data sharing and reuse • Data integration and analysis • FAIR data principles
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	60-minütige Klausur 60-minute written examination
Medienformen Media used	Vorlesungen, Präsentation und Demonstrationen mit Projektor, Tafel, praktisches Seminar, Tool-Demonstrationen über Beamer, Studierende arbeiten an praktischen Übungen an ihren eigenen Geräten Lectures, presentation and demonstrations with a projector, blackboard, practical seminar, demonstrations with a projector, students work on exercises using their own laptops
Literatur Reading list	RDA: Research data alliance https://www.rd-alliance.org/ Pietro Pinoli, Stefano Ceri, Davide Martinenghi, Luca Nanni: Metadata management for scientific databases. Inf. Syst. 81: 1-20 (2019) Managing Research Data to Unlock its Full Poten-

	tial : https://masterclasses.nature.com/managing-research-data/18320206 Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci Data 3, 160018 (2016). https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18 Research data Oxford: https://researchdata.ox.ac.uk/data-management-training Cox, A. M., & Pinfield, S. (2014). Research data management and libraries: Current activities and future priorities. Journal of Librarianship and Information Science, 46(4), 299–316. https://doi.org/10.1177/0961000613492542

6212	Modern Database Systems	PN 472770
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Scherzinger	
Dozent(in) Lecturer	Hobulova	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 50 Std. Übungen + 70 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 50 hrs exercises + 70 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Datenbanken und Informationssysteme Databases and Information Systems	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	The aim of the course is to provide and introduction to the approaches for efficient storing and querying of Big Data. The course will familiarize students with a wide range of related concepts and technologies and provide a deeper insight into new types of database systems. For each type of databases, basic principles and techniques as well as practical examples	

	will be introduced. In the labs, the students will put into operation different types of databases and test their functionality using small applications.
Inhalt Course content	The following topics are covered: • Relational data model, relational databases. Historical overview of alternative data models and database systems. • Introduction to Big Data (history, features, data models). • Basic principles of Big Data Management (CAP Theorem, distribution, scaling, replication, transactions in a distributed environment, ...). • Overview and classification of database systems and technologies for efficient management and processing of Big Data. • Distributed file systems. • MapReduce - principle, properties, critique, alternative approaches. • NoSQL databases (key / value, column, document). • Graph data and graph databases. • Data with multiple models. Multi-model databases. Polystores. • SQL language in the world of Big Data. NewSQL database. • Other types of modern databases (array databases, ...).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Teil 1: Mind. 50% der Punkte aus kleinen praktischen Aufgaben aus den Übungen, z. B. die Arbeit mit einem speziellen System. Die Projektarbeit kann während der Übungen oder im Selbststudium zu Hause erbracht werden. Nicht Teil der Endnote. Teil 2: Eine benotete 60-minütige schriftliche Klausur, die die Terminologie und theoretische Prinzipien prüft. Die Punkte für die Endnote werden wie folgt berechnet: Teil 1 wird als bestanden/unbestanden gewertet, und muss bestanden werden. Teil 2 wird mit einer Note bewertet. Part 1: At least 50% of points from small practical assignments from the labs, i.e., work with the particular systems. Can be done during the practicals or as homework. Not a part of the final grading. Part 2: A graded 60-minute written examination of terminology and theoretical principles. The points for the final grade are computed as follows: Part 1 is pass/fail, and must be passed.

	Part 2 is graded.
Medienformen Media used	Tafel, Projektor Blackboard, projector
Literatur Reading list	Pramod J. Sadalage - Martin Fowler: NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence Eric Redmond - Jim R. Wilson: Seven Databases in Seven Weeks: A Guide to Modern Databases and the NoSQL Movement Sherif Sakr - Eric Pardede: Graph Data Management: Techniques and Applications Jeffrey Dean and Sanjay Ghemawat: MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters, Google, Inc. Hadoop: The Definitive Guide, by Tom White, 2nd edition, Oreilly's, 2010 Carlyna Bondiombouy, Patrick Valduriez. Query Processing in Multistore Systems: an overview. [Research Report] RR-8890, INRIA Sophia Antipolis - Méditerranée. 2016, pp.38.

6215	Online and Approximation Algorithms	PN 455480
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Harks	
Dozent(in) Lecturer	Ghodselahi	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 60 Std. Übungen + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 60 contact hours + 60 hrs exercises + 60 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Erwerb von Kenntnissen über Online- und Approximationsprobleme sowie deren praktische Anwendung. — Acquire an understanding of online and approximation problems, along with their practical applications.	

	Fähigkeiten / Abilities Verbessern Sie Ihre Fähigkeit, Online- und Approximationsprobleme zu identifizieren und zu lösen, indem Sie Techniken wie potentielle Funktionen, LP-Relaxierungen und randomisiertes Runden anwenden. — Enhance your ability to identify and solve online and approximation problems using techniques such as potential functions, LP relaxations, and randomized rounding. Kompetenzen / Competencies Entwicklung der Fähigkeit, Online- und Näherungsalgorithmen theoretisch zu analysieren, so dass keine Programmierung erforderlich ist. — Develop the competency to theoretically analyze online and approximation algorithms, eliminating the need for programming.
Inhalt Course content	list access, cashing, randomized online algorithms, load balancing, scheduling, k-server problems, knapsack, set cover, matching, hitting set.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120 min Klausur oder ca. 30 min mündliche Prüfung 120-minute written examination or 30-minute oral examination
Medienformen Media used	Präsentation mit Tafel und Beamer Presentation with a projector, blackboard
Literatur Reading list	A. Borodin und R. El-Yaniv. Online Computation and Competitive Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 1998 V. V. Vazirani. Approximation Algorithms. Springer Verlag, Berlin, 2001 A. Fiat, G. J. Woeginger. Online Algorithms: The State of the Art. Springer, 1998

6217 Stochastische Prozesse auf Graphen und Gruppen Stochastic Processes on Graphs and Groups	PN 455490
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach
Dozent(in) Lecturer	Gilch
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	60+30 Std. Präsenz, 120+60 Std. Eigenarbeitszeit 60+30 contact hours, 120+60 hours independent study
ECTS Credits	9
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Lineare Algebra I, Analysis I, Einführung in die Stochastik Linear Algebra I, Analysis I, Introduction to Stochastics
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden erhalten eine Einführung in die mathematischen Grundlagen wichtiger stochastischer Prozesse. Die vorgestellten Zufallsprozesse werden insbesondere hinsichtlich auftretender Phänomene und ihres asymptotischen Verhaltens untersucht. — The students shall acquire the basic mathematical concepts of

	important classes of stochastic processes. Different phenomena of the presented random processes are discussed and the asymptotic behavior of these processes are studied.
Inhalt Course content	In dieser Vorlesung werden die mathematischen Grundlagen einiger wichtiger stochastischer Prozesse behandelt: • Perkolation auf Graphen (Existenz und Anzahl unendlicher Cluster) • Galton-Watson Prozesse (Aussterbewarscheinlichkeiten) • Entropie von stationären stochastischen Prozessen (Shannon-McMillan-Breiman Theorem) • Irrfahrten auf Gruppen und deren asymptotische Eigenschaften (Geschwindigkeit, Entropie, Subadditiver Ergodensatz) • Verzweigende Irrfahrten auf Cayley-Graphen — This lecture covers the mathematical foundations of some important stochastic processes, namely: • Percolation on graphs (existence and number of infinite clusters) • Galton-Watson processes (extinction probabilities) • Entropy of stationary stochastic processes (Shannon-McMillan-Breiman theorem) • Random walks on groups and their asymptotic properties (speed, entropy, subadditive ergodic theorem) • Branching random walks on Cayley graphs
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120 minütige schriftliche Prüfung oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120 minute written or 30-minute oral examination. The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation und Beamer, Tafel Presentation and projector, blackboard
Literatur Reading list	T. Cover & J.Thomas: Elements of Information Theory, Wiley, 2019. R. Durett: „Probability. Theory and Examples. (Fourth Edition)“, Cambridge University Press, 2010. G. Grimmett: Percolation, Springer, 1999. W. Woess: Random Walks on Graphs and Groups, Cambridge University Press, 2000. W. Woess: Denumerable Markov Chains, European Math. Society, 2009.

6218	Maß- und Integrationstheorie	PN 455510
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Müller-Gronbach, Prochno, Rudolf	
Dozent(in) Lecturer	Müller-Gronbach, Prochno, Rudolf	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“	
Lehrform/SWS Contact hours	4V + 2Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Übungen + 90 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 90 contact hours + 90 hrs exercises + 90 hrs independent study and exam preparation	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Analysis I + II, Lineare Algebra I + II, Einführung in die Stochastik Analysis I + II, Linear Algebra I + II, Introduction to Stochastic	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Bachelor Mathematik	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Verständnis der Grundkonzepte und -techniken sowie der zentralen Ergebnisse der Maß- und Integrationstheorie.	

	Fähigkeiten / Abilities Anwendung grundlegender Modellierungs- und Beweisverfahren der Maß- und Integrationstheorie.
Inhalt Course content	Grundkonzepte der Maß- und Inteagrationstheorie, u.a. • Maßräume und messbare Abbildungen, • Produkträume, • Konstruktion von Maßen, • Maßintegrale, • Konvergenz von Folgen messbarer Funktionen, • Absolute Stetigkeit von Maßen. Darauf aufbauend eine Auswahl weiterer Inhalte, etwa • Hausdorff-Maße, • Integration auf Mannigfaltigkeiten, • Integralsätze von Stokes und Gauß.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	120-minütige Klausur oder mündliche Prüfung (ca. 30 Minuten); die genaue Prüfungsart wird zu Beginn des Semesters bekannt gegeben. 120-minute written examination or oral examination (approx 30 minutes). The precise mode of assessment will be announced at the start of the semester.
Medienformen Media used	Präsentation,Beamer, Tafel Presentation, Beamer, Blackboard
Literatur Reading list	Bekanntgabe durch Dozenten / Announced during the lecture

6219 IoT Security: Security Solutions for the Internet of Things	PN 455520
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Katzenbeisser
Dozent(in) Lecturer	Anagnostopoulos
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“
Lehrform/SWS Contact hours	2V
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 30 contact hours + 60 hours independent study and exam preparation
ECTS Credits	3
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	-
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students acquire basic knowledge of the Internet of Things (IoT), of its different segments that include devices of varying capabilities, of the industrial IoT, as well as of the concept of IoT 2.0, which combines IoT with advanced technologies, such as artificial intelligence and the blockchain. The students gain

	knowledge of potential security solutions for the IoT, ranging from the design level to security protocol implementations for particular use cases, such as device authentication, device attestation, and sensor data aggregation. Additionally, practical knowledge on how to gather sensor data and secure them is also provided by examining the relevant topic with the help of the STM B-L475E-IOT01A board. Fähigkeiten / Abilities Students gain the ability to outline and potentially implement security solutions, ranging from design-level solutions to use case protocols, both in theory and in practice. Students gain the ability to theoretically analyze potential threats in the framework of the IoT and to phrase out relevant requirements, potentially leading to the corresponding security specifications. Kompetenzen / Competencies Students learn to analyze the security requirements, specifications, threat models and analyses associated with the IoT, and select appropriate security solutions to address them, without affecting the practicality and efficiency of the relevant IoT systems. Practical competencies for the design and implementation of security solutions in the framework of the IoT are also acquired, to a limited extent.
Inhalt Course content	The following topics are covered: • Basic concepts (definition of the Internet of Things (IoT), examination of the different segments of th IoT and their diversity, applications of the IoT, the need for (lightweight)security in the IoT) • Requirements, specifications, threat modelling, attack surface analysis for the IoT • The ENISA reports regarding good practices for security of the IoT • The Industrial Internet of Things (IIoT) and the concept of IoT 2.0 • Introduction of security in the IoT in the design phase • Lightweight security primitves: Physical Unclonable Functions (PUFs), True Random-Number Generators (TRNGs), Trusted Platform Modules (TPMs), and other solutions • Lightweight cryptography for the IoT: Standards and proposed solutions • Authentication protocols in the context of th IoT • Attestation of IoT devices in the field • Advanced security solutions for the IoT utilizing the blockchain, machine learning, post-CMOS technologies

	and/or advanced artificial intelligence (Security for the IoT 2.0 concept) • Secure sensor data aggregation in the context of the IoT: Issues and potential solutions • Sensor measurements with the STM B-L475E-IOT01A board • Security in the framework of the STM B-L475E-IOT01A board • Exploring a comprehensive security solution for the STM B-L475E-IOT01A board in the framework of a network forming a small segment of the IoT
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur in Englisch 90-minute written exam in English
Medienformen Media used	Presentation, projector, blackboard, sensor measurements with the STM B-L475E-IOT01A board
Literatur Reading list	Russel & Van Duren: „Practical Internet of Things Security“, 2nd edition, Packt Publishing, 2019. Gilchrist: „IoT Security Issues“, De Gruyter, 2017.

6220 Introduction to Microelectronics: From Silicion to Computer Components	PN 455530
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Katzenbeisser
Dozent(in) Lecturer	Anagnostopoulos
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“
Lehrform/SWS Contact hours	2V
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 60 Std. Nachbereitung der Vorlesung und Prüfungsvorbereitung 30 contact hours + 60 hours independent study and exam preparation
ECTS Credits	3
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	-
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students acquire basic knowledge of microelectronics, ranging from semiconducting materials and their principles of operation in the context of computers to post-CMOS technologies, simple digital circuits, and their applications for computation

	and computer sciences. Students learn the working principles of diodes, transistors, operational amplifiers, and even post-CMOS electronics relevant to digital circuits in the framework of computer science. Fähigkeiten / Abilities Students learn the application domains of microelectronics and are able to design simple analog and digital circuits, such as memory cells, both in theory and in practice. Kompetenzen / Competencies Students learn to analyze simple circuit designs and gain the ability to select the appropriate microelectronic components for the creation of simple circuits to address problems in the computation, storage, and other similar domains.
Inhalt Course content	The following topics are covered: • Basic concepts of microelectronics (examples of electronic systems, electronics vs. microelectronics, etc.) • Short introduction to the physics of microelectronics (charge carriers, the pn junction, the need for conductors and semiconductors, silicon and other semiconducting materials) • Diodes and their applications • MOS transistors (PMOS, NMOS, CMOS), their principles of operation, and their applications • CMOS amplifiers • Operational amplifiers, modes of operation (noninverting amplifier, inverting amplifier, integrator and differentiator, voltage adder), and their applications • Design principles of simple computer components based on microelectronics (memory cells, registers, logical gates) • Basic digital circuits and practical applications • Circuit design, correction, and theoretical testing using artificial intelligence • Microelectronics beyond silicon: connection to nanoelectronics and post-CMOS technologies
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	90 Minuten Klausur in Englisch 90-minute written exam in English
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Tafel Presentation, projector, blackboard
Literatur Reading list	Sedra, Smith, Carusone & Gaudet: „Microelectronic Circuits“, 8th edition, Oxford University Press, 2019. Momeni: „Grundlagen der Mikroelektronik 1“, Springer, 2021. Razavi: „Fundamentals of Microelectronics“, 3rd edition, Wi-

	ley & Sons, 2021.

6221	Industrial Prototyping for Makers	PN 455540
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser, Kosch	
Dozent(in) Lecturer	Fraser, Kosch	
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“, Modulgruppe „InfKomm“ Focus „ProgSoft“, Focus „InfKomm“	
Lehrform/SWS Contact hours	4P	
Arbeitsaufwand Workload	60 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 60 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	- -	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	- -	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Students acquire the ability to develop a technical or software prototype from inception to requirements analysis to product review. They will obtain methodological knowledge. Fähigkeiten / Abilities Students acquire the skills to implement complex software systems and technical prototypes. They will develop the ability to use appropriate software libraries, software and hardware tools	

	to do so. Kompetenzen / Competencies Students acquire the organisational and technical skills to conceptualise, plan, and implement prototype systems.
Inhalt Course content	Students will work in groups on a given problem description originating from the industrial maker scene (for example building intelligent systems that analyse the environment and react accordingly), or datasets (for example images of additive manufacturing goods to classify as defective or not). Students will produce a prototype solving the given problem description, covering possible topics: • Software prototyping • Programming embeded systems • Marketing • Seonsor Systems • Robotics • Artificial Intelligence Finally, the results will be reported in a technical report.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio consisting of source code, a written technical report on the outcome of the project and up to four presentations.The overall grade results from the overall assessment of the performance (as a portfolio). The exact mode of assessment will be announced at the beginning of the semester.
Medienformen Media used	Projector, blackboard
Literatur Reading list	Own lecture notes and selected publications. Literature will be announced depending on the concrete topics.

6232	Prototyping & Programming	PN 455430
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Fraser, Kosch	
Dozent(in) Lecturer	Fraser, Kosch	
Sprache Language of instruction	Deutsch German	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	4Ü Blockveranstaltung	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Präsenz + 90 Std. Vor- und Nachbereitung des Praktikums 90 contact hours + 90 hrs preparation and follow-up	
ECTS Credits	6	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Programmierung I Programming I	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden entwerfen einen Prototypen als 3D-Modell am Computer, definieren Werkzeugwege und erstellen Schnittmuster für CNC-Maschinen. Der Prototyp wird anschließend gefertigt, zusammengebaut und mit einem Microcontroller als Steuerung/Regelung ausgestattet. Dabei werden die grundlegenden Prinzipien des Messens, Steuerns und Regelns verwen-	

	det. Außerdem wird ein fortgeschrittener KI-Ansatz implementiert. Fähigkeiten / Abilities Die Teilnehmer erwerben die Fähigkeit Modellierung und Fertigung realer Gegenstände (bspw. Ersatzteile). Sie programmieren Microcontroller wie Arduino, RaspberryPi oder ESP8266 und lernen die programmiertechnischen Herausforderungen des hardwarenahen Programmierens eingebetteter Systeme zu bewältigen. Zudem verwenden sie Musterkennung mittels künstlicher Intelligenz. Die Studierenden erlernen ein bestehendes Modell des maschinellen Lernens mittels Finetunings auf ihren Anwendungsfall anzupassen bzw. selbst ein Modell zu trainieren. Kompetenzen / Competencies Die Teilnehmer erwerben Kompetenzen auf hardware- sowie softwaretechnischer Ebene. Sie lernen auf typische Probleme in der CNC-Fertigung sowie Microcontrollerprogrammierung geeignet zu reagieren. Die Teilnehmer lernen begründet Entscheidungen im Rahmen der hardwarenahen Programmierung zu treffen. Die Teilnehmenden erwerben Kompetenzen verschiedene Modelle des Maschinellen Lernens gegeneinander abzuwägen und das für ihren Anwendungsfall geeignete Modell anhand der gegebenen Faktoren begründet auszuwählen.
Inhalt Course content	Studierende konstruieren und fertigen sowohl ein 2D-Modell als auch ein 3D-Modell. Dazu werden verschiedene additive als auch zerspanende Produktionsverfahren verwendet. Konkret stehen 3D-Drucker (Filament/Resin), CNC-Laser und CNC-Fräsen zur Verfügung. Anschließend werden die Bauteile zusammengesetzt und programmiert. Für die Verarbeitung von Sensordaten und Reaktion auf diese wird künstliche Intelligenz verwendet. Dabei wird je nach Möglichkeit ein vorhandenes Modell verwendet, welches Finetuning erfährt oder aus eigenen Messdaten ein neues Modell trainiert. Diskutiert werden reale Anwendungsfälle und sinnvolle Einsatzmöglichkeiten in Schule und Wirtschaft.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung basierend auf der Eignung, Implementierung, und Auswertungsmethodik der gewählten Methoden, den erzielten Ergebnissen, und der Präsentation der Projektergebnisse. Die Elemente des Portfolios sind: Der Quelltext inklusive Dokumentation, eine schriftliche Ausarbeitung zu den Projektergebnissen, Präsentationen der Projektergebnisse, sowie ein abschließendes Prüfungsgespräch (ca. 10 Minuten) mit jedem Teilnehmenden. Bei Teampräsentationen muss jeder Teilnehmende den Eigenanteil am Projekt darstellen. Zu-

	sätzlich werden die Eigenanteile in der Quelltextdokumentation und der Ausarbeitung schriftlich festgehalten. Details zur Bewertung werden zu Beginn der Lehrveranstaltung erläutert.
Medienformen Media used	Präsentation, Beamer, Werkstatt
Literatur Reading list	Wird vom Dozent/von der Dozentin bekannt gegeben.

6237	Compiler Construction Lab	PN 455422
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Hammer	
Dozent(in) Lecturer	Hammer	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“	
Lehrform/SWS Contact hours	6Ü	
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Laborarbeit + 180 Std. Nachbearbeitung Laborarbeit: Erläuterung der Teilprojekte und Anforderungen an Portfoliobestandteile sowie Fragen zur Aufgabenstellung und den jeweiligen Lösungsansätzen Nachbearbeitung: 3 Teilprojekte a 60h 90 hours laboratory work + 180 hours independent study and implementation Laboratory work: Explanation of the sub-projects and requirements for portfolio components as well as questions about the task and the respective solution approaches Independent study: 3 sub-projects of 60 hours each	
ECTS Credits	9	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Compiler Construction, Theoretische Informatik, Rechnerachitektur Compiler Construction, Theoretical Computer Science, Computer Architecture	

Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden verstehen etablierte und aktuelle Verfahren zur Übersetzung von Source Code in andere Sprachen, bevorzugt in low-level Maschinensprache, insbesondere Techniken der syntaktischen und semantischen Sprachbehandlung von Übersetzern sowie der Codegenerierung und -optimierung mit Hilfe von Programmanalyse. — The students understand established and current procedures for translating source code into other languages, preferably into low-level machine language, in particular techniques of syntactic and semantic analysis by compilers as well as code generation and optimization using program analysis. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden lernen anspruchsvoller Informatik-Aufgaben unter praktisch experimenteller Anwendung des im Studium vermittelten Theorie- und Methodenwissens der Informatik zu lösen. Sie können größere konstruktive und experimentelle Aufgaben bearbeiten und sind in der Lage Recherche aktueller Publikationen zum übergeordneten Projektthema durchzuführen. Die Studierenden sind in der Lage, prototypische sprachverarbeitende Systeme eigenständig zu erstellen. — The students learn to solve demanding computer science tasks through practical experimental application of the theoretical and methodological knowledge of computer science acquired during their studies. They can work on larger constructive and experimental tasks and are able to research current publications on the overarching project topic. The students are able to independently create prototype language processing systems. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben berufsbefähigende Praxiskompetenz durch Durchlaufen der typischen Phasen eines Entwicklungsprojekts. Sie eignen sich Problemlösungskompetenz durch wissenschaftliches Arbeiten (unter Anleitung) mit dem Ziel, Probleme aus aktuellen Entwicklungen zu bewältigen an. Sie erarbeiten sich Transferkompetenz durch Anwendung des Theorie- und Methodenschatzes der Informatik auf komplexe Probleme und sie erlernen die Gegenseitige Vermittlung der inhaltlichen Grundlagen eines ausgewählten Teilgebiets. —

	The students acquire practical skills that enable them to work in a profession by going through the typical phases of a development project. They acquire problem-solving skills through scientific work (under supervision) with the aim of overcoming problems arising from current developments. They acquire transfer skills by applying the theory and methodology of computer science to complex problems and they learn how to convey the content-related fundamentals of a selected subarea to each other.
Inhalt Course content	Behandlung der verschiedenen Phasen eines Übersetzers: Lexikalische, syntaktische und semantische Analyse eines Source Programms, Codegenerierung und –optimierung für abstrakte und reale Maschinen, Grundlagen der Programmanalyse. — Treatment of the different phases of a compiler: lexical, syntactic and semantic analysis of a source program, code generation and optimization for abstract and real machines, basics of program analysis.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio-Prüfung basierend auf der Eignung, Implemetnierung und Auswertungsmethodik der gewählten Methoden, den erzielten Ergebnissen und der Präsentation der Projektergebnisse. Die Elemente des Portfolios sind: Der Quelltext der drei Teilprojekte inklusive Dokumentation, eine schriftliche Ausarbeitung zu den Projektergebnissen (max. 8 Seiten), Präsentation der Projektergebnisse sowie ein abschließendes Prüfungsgespräch (max. 10 Minuten) mit jedem Teilnehmenden. Bei Teampräsentationen muss jeder Teilnehmende den Eigenanteil am Projekt darstellen. Zusätzlich werden die Eigenanteile in der Quelltextdokumentation und der Ausarbeitung schriftlich festgehalten. Details zur Bewertung werden zu Beginn der Lehrveranstaltung erläutert. Portfolio exam based on the suitability, implementation and assessment refinement of the chosen methods, the achieved results and communication/presentation of the project. The portfolio elements are code of the three sub-projects with documentation, a written report on the outcome of the projects (max. 8 pages), presentations given overe the course of the semester and a final examination conversation (max. 10 minutes) with each individual participant. Within the team presentations, each participant showcases her/his own personal contribuation to the project. Additionally, participants declare in written form their individual contributions as part of the report and the code documentation.

	Details on the assessment including count and length of the presentations will be announced at the beginning of the course.
Medienformen Media used	Labor, Rechner, Beamer Laboratory, Computer, Projector
Literatur Reading list	Aho, Lam, Sethi, Ullman: Compilers - Principles, Techniques and Tools. Addison-Wesley A. Appel: Modern Compiler Implementation in Java, Cambridge University Press Seidl, Wilhelm, Hack: Compiler Design. Springer

32866	Entrepreneurship Development Programme	PN 568320
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester	
Moduldauer Module duration	2 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Barmeyer; Bleyer; Bort; Granitzer; Häussler; Mayr; Schumann; Totzek; von Lewinski; Diekmann	
Dozent(in) Lecturer	Barmeyer; Bleyer; Bort; Granitzer; Häussler; Mayr; Schumann; Totzek; von Lewinski; Diekmann	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AllgBer“ Focus „AllgBer“	
Lehrform/SWS Contact hours	-	
Arbeitsaufwand Workload	90 hrs. class instruction, 210 hrs. self-study & teamwork	
ECTS Credits	10	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Successful application and participation at ‘Focus Days’ (Note: The selection of participants, if necessary, will take place after application at the so-called ‘Focus Days’.) Initial (business) idea, and at least a team of two members are recommended.	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills		
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Students who have successfully participated in the module Entrepreneurship Development Programme, • explain concepts and methods in the start-up field and identify decision-relevant milestones in various sub-areas such as “customer-centric idea development”, “business modelling”, “prototyping”, “testing”, and “stakeholder management”.	

	• analyse in detail the potential of target markets, prototypes or business ideas with qualitative (and, if necessary, quantitative) customer and market research tools. • apply established entrepreneurial tools and concepts to formulate and quantify a compelling value proposition while taking sustainable (ecological and social), and intercultural effects into consideration. • develop and reflect entrepreneurial thinking and action during the practical experience of setting up a business, for which self-initiative, decisiveness, teamwork, communication skills, and creativity are of central importance. • critically reflect and discuss their entrepreneurial decisions, actions and experiences based on scientific concepts and theories. • set up and present a sophisticated pitch deck and business plan, which compellingly structures the business idea and prototype for potential stakeholders (e.g., partners, employees, or investors). • develop and reflect entrepreneurial thinking and action during the practical experience of setting up a business, for which self-initiative, decisiveness, teamwork, communication skills, and creativity are of central importance.
Inhalt Course content	The Entrepreneurship Development Programme is an intense, interdisciplinary programme to develop and validate a business idea and prototype with a focus on digitalisation, interculturality or sustainability. Following the Lean Start-up method, the programme is structured in two intense phases focusing on value creation and value capture to meet the individual needs of student start-up teams (or student entrepreneurs). Within each intense phase, the (business) idea and prototype(s) will be refined in various workshops and individual coaching sessions. Faculty specialised in (digital) technology, business, sustainability, interculturality, and law support the teams in developing and validating their business model and prototype(s). At the end of the programme, all developed content results in a business plan and pitch deck presented at the final pitch event which can be the starting point for the next steps as an entrepreneur. In conjunction with an individual reflection on entrepreneurial decisions in the light of state-of-the-art studies in entrepreneurship, students prepare for the next steps as entrepreneurs. — The following contents will be covered: • Customer and market research

	• Value proposition design along with competition and stakeholder analyses • Business modelling, incl. financial planning as well as sustainable (ecological and social) impact • Marketing strategy (incl. marketing mix) formulation and intercultural aspects • (Digital) prototyping and testing based on psychological theories and concepts • Legal idea and stakeholder assessment
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio examination (active participation, written reports, individual presentations, and individual term paper). The module is not graded.
Medienformen Media used	
Literatur Reading list	Literature & supporting material will be announced individually in the workshops & coaching sessions

39734 Approximate Dynamic Programming (Reinforcement Learning)	PN 266194
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Notice: formerly „Advanced Topics in Management Science: Planing of Complex Interactive Systems" Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Otto (Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät / Faculty of Business, Economics and Information Systems)
Dozent(in) Lecturer	Otto
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“
Lehrform/SWS Contact hours	2V + 2Ü
Arbeitsaufwand Workload	Lecture 4 SWS (60 h attendance and 90 h own work) Calculation basis: 15 weeks in a semester, including an examination week; each SWS corresponds to 60 minutes
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	The main objective of the course is to impart insights into dynamic-programming-based approaches for complex nonlinear optimization problems (especially mixed-integer optimization problems), including online optimization, sequential decision making and stochastic optimization. Students will learn

	how to approach complexity by incorporating suitable approximation and simulation elements into the design of solution algorithms. The course facilitates critical appreciation of algorithms and algorithmic approaches, including neural networks and reinforcement learning. With help of numerical examples and case studies, the course will prepare students to apply the learned concepts in practice.
Inhalt Course content	Dynamic programming (basic concepts, sequential decision making under uncertainty, understanding the curse of dimensionality, stochastic and deterministic shortest paths algorithms); Basics of neural networks architectures and training; Basics of simulation and stochastic iterative algorithms; Basics on approximate DP with cost-to-go function approximation (reinforcement learning); Case studies
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	a) Final exam 100% or b) Final exam 90% + 10% for completing optional assignments during the semester (with reservations)
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Bertsekas, D. P., and Tsitsiklis, J. N. (1996). Neuro-Dynamic Programming. Athena Scientific: Massachustetts. Bertsekas, D. P. Dynamic Programming and Optimal Control. Athena Scientific: Massachustetts. Bertsekas, D. P. Dynamic Programming and Optimal Control: Approximate Dynamic Programming. Athena Scientific: Massachustetts. Bertsekas, D. P. Abstract Dynamic Programming. Athena Scientific: Massachustetts. Powell, W. B. Approximate Dynamic Programming. John Wiley and Sons.

39745 Practical Course: Advanced Topics in Management Science PN 266502	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Otto (Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät / Faculty of Business, Economics and Information Systems)
Dozent(in) Lecturer	Otto
Sprache Language of instruction	Englisch English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“
Lehrform/SWS Contact hours	2Ü
Arbeitsaufwand Workload	Practical Course 2 SWS (30 h attendance and 120 h own work) Calculation basis: 15 weeks in a semester, including an examination week; each SWS corresponds to 60 minutes
ECTS Credits	3
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	• Mathematical maturity and the ability to write down precise and rigorous arguments. • Solid basic knowledge of modeling and optimization. • Ability to understand and write a pseudocode. • At least basic programming skills. The topics of the practical course are always aligned with a master course of our Chair taught in the preceding term. Therefore, a successful completion of this course is required
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering

Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	The main objective of the course is to give students a holistic view of the problem analysis, modeling, algorithm design, its implementation, testing as well as into working out a final recommendation and managerial insights relevant for decision making. In the end of the course, the students should be able to independently design and implement appropriate optimization algorithms and appreciate critically their design and performance.
Inhalt Course content	In this practical course, the participants will work in depth through a specific case study, design an appropriate solution procedure, implement it, critically evaluate their algorithm and test it in computational experiments. The course participants present their project in the final presentation. Topics of the practical course are aligned with the master courses of our Chair and may center, for instance, around design of customized AI algorithms (reinforcement learning/approximate dynamic programming), heuristics/metaheuristics, exact optimization methods, or work with specialized optimization software (e.g., IBM ILOG Cplex, Gurobi).
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Portfolio examination. The final grade may depend, for instance, on: • The designed algorithm and its critical appreciation. • The implementation of the algorithm. • Computational experiments. • Final presentation, recommendation and managerial insights. The grading scheme is announced in the beginning of the course.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Recommended literature usually includes recent scientific articles as well as further scientific articles or books relevant for the studied topic.

39746	Sustainable Supply Chain Management	PN 265770
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Unregelmäßig Irregular	
Moduldauer Module duration	1 Semester	
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Otto (Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät / Faculty of Business, Economics and Information Systems)	
Dozent(in) Lecturer	Mohan	
Sprache Language of instruction	Englisch English	
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“	
Lehrform/SWS Contact hours	2V	
Arbeitsaufwand Workload	Lecture 2 SWS (30 h attendance and 120 h own work) Calculation basis: 15 weeks in a semester, including an examination week; each SWS corresponds to 60 minutes	
ECTS Credits	5	
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None	
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	Master Computational Mathematics, Master Artificial Intelligence Engineering	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Students will learn to assess and measure sustainability in supply chains using life cycle analysis. Further, they will learn to integrate these measures in supply chains. In particular they will learn about operational aspects of managing logistics, inventory, and facilities in a sustainable supply chain. The social dimension of sustainable supply chain will also be discussed. The course will cover theoretical foundations, practical appli-	

	cations, and emerging trends in these areas.
Inhalt Course content	This course on Sustainable Supply Chain Management is designed for Master students to gain a comprehensive understanding of sustainability in supply chains After introducing the three pillars of sustainability: economic, environmental, and social, the course discusses how supply chains drive sustainability. The course focuses on building sustainable supply chains and discusses challenges in achieving the same.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Assignments and Mini projects to be done in groups. The end term examination of two hours duration will test the student on topics that are covered in the course
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Recommended literature usually includes recent scientific articles as well as further scientific articles or books relevant for the studied topic.

Seminar	**PN 450001**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch nach Abstimmung mit dem jeweiligen Dozenten German or English in consultation with the respective lecturer
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Pflichtmodul Compulsory module
Lehrform/SWS Contact hours	2S Geeignete Seminare werden zu Beginn des Semesters durch Aushang sowie auf der Webseite der Fakultät bekannt gegeben — Suitable seminars will be announced at the beginning of the semester on the noticeboard and on the faculty website
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 30 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Werden vom jeweiligen Dozenten zu Beginn des Semesters bekanntgegeben Will be announced by the respective instructors at the beginning of the semester
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-

Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden lernen, sich selbständig in das gestellte Seminarthema einzuarbeiten, es fachlich für einen Vortrag aufzubereiten und zu präsentieren. Kompetenzen: Selbständige Einarbeitung in ein Thema, schriftliche Erörterung, mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz — The students learn how to independently incorporate material into the set seminar topic and professionally prepare and present a lecture. Competencies: developing a topic, written discourse, oral expression and presentation competence
Inhalt Course content	Erarbeitung des gestellten Themas anhand von wissenschaftlicher Literatur und dessen Präsentation — Elaboration of the set topic based on scientific literature, and presentation of the same
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Bewertung der schriftlichen Ausarbeitung (ca. 8-10 Seiten) und deren Präsentation. Dabei wird jeweils die mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz bzw. die schriftliche Erörterungskompetenz geprüft; für beide Leistungen wird eine gemeinsame Note vergeben. Die genaue Dauer der Präsentation wird von der Dozentin bzw. dem Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Evaluation of written work (approximately 8-10 pages) and presentation. In each case, the oral expression and presentation skills or written discussion skills will be considered; one mark is jointly awarded for both.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

Forschungsseminar im Schwerpunkt „AlgMath“ **Research Seminar for the Focus “AlgMath“**	**PN 451010**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch nach Abstimmung mit dem jeweiligen Dozenten German or English in consultation with the respective lecturer
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „AlgMath“ Focus „AlgMath“
Lehrform/SWS Contact hours	2S Geeignete Seminare werden zu Beginn des Semesters durch Aushang sowie auf der Webseite der Fakultät bekannt gegeben — Suitable seminars will be announced at the beginning of the semester on the noticeboard and on the faculty website
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 30 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Werden vom jeweiligen Dozierenden zu Beginn des Semesters bekanntgegeben Will be announced by the respective instructors at the beginning of the semester
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen	-

Applicability for other courses	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden lernen, sich selbständig in das gestellte Seminarthema, ein aktuelles Forschungsthema aus dem Schwerpunkt „Algorithmik und Mathematische Modellierung“, einzuarbeiten, es fachlich für einen Vortrag aufzubereiten und zu präsentieren. Kompetenzen: Selbständige Einarbeitung in ein Thema, schriftliche Erörterung, mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz — The students learn how to independently acquire a research topic in the focus area and to professionally prepare and present a lecture. Competencies: Developing a topic, written discourse, oral expression and presentation competence
Inhalt Course content	Erarbeitung des gestellten Themas aus dem Schwerpunkt „Algorithmik und Mathematische Modellierung“ anhand von wissenschaftlicher Literatur und dessen Präsentation — Elaboration of the set topic (focus “Algorithmics and Mathematical Modeling“) based on scientific literature, and its presentation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Bewertung der schriftlichen Ausarbeitung (ca. 8-10 Seiten) und deren Präsentation. Dabei wird jeweils die mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz bzw. die schriftliche Erörterungskompetenz geprüft; für beide Leistungen wird eine gemeinsame Note vergeben. Die genaue Dauer der Präsentation wird von der Dozentin bzw. dem Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Evaluation of written work (approximately 8-10 pages) and presentation. In each case, the oral expression and presentation skills or written discussion skills will be considered; one mark is jointly awarded for both. The precise requirements on written and oral presentation will be announced at the beginning of the class.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

Forschungsseminar im Schwerpunkt „InfKomm“ **Research Seminar for the Focus “InfKomm“**	**PN 452010**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch nach Abstimmung mit dem jeweiligen Dozenten German or English in consultation with the respective lecturer
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „InfKomm“ Focus „InfKomm“
Lehrform/SWS Contact hours	2S Geeignete Seminare werden zu Beginn des Semesters durch Aushang sowie auf der Webseite der Fakultät bekannt gegeben — Suitable seminars will be announced at the beginning of the semester on the noticeboard and on the faculty website
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 30 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Werden vom jeweiligen Dozierenden zu Beginn des Semesters bekanntgegeben Will be announced by the respective instructors at the beginning of the semester
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen	-

Applicability for other courses	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden lernen, sich selbständig in das gestellte Seminarthema, ein aktuelles Forschungsthema aus dem Schwerpunkt „Informations- und Kommunikationssysteme“, einzuarbeiten, es fachlich für einen Vortrag aufzubereiten und zu präsentieren. Kompetenzen: Selbständige Einarbeitung in ein Thema, schriftliche Erörterung, mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz — The students learn how to independently acquire a research topic in the focus area and to professionally prepare and present a lecture. Competencies: Developing a topic, written discourse, oral expression and presentation competence
Inhalt Course content	Erarbeitung des gestellten Themas aus dem Schwerpunkt „Informations- und Kommunikationssysteme“ anhand von wissenschaftlicher Literatur und dessen Präsentation — Elaboration of the set topic (focus “Information and Communication Systems“) based on scientific literature, and its presentation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Bewertung der schriftlichen Ausarbeitung (ca. 8-10 Seiten) und deren Präsentation. Dabei wird jeweils die mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz bzw. die schriftliche Erörterungskompetenz geprüft; für beide Leistungen wird eine gemeinsame Note vergeben. Die genaue Dauer der Präsentation wird von der Dozentin bzw. dem Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Evaluation of written work (approximately 8-10 pages) and presentation. In each case, the oral expression and presentation skills or written discussion skills will be considered; one mark is jointly awarded for both. The precise requirements on written and oral presentation will be announced at the beginning of the class.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Wird vom Dozenten bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

Forschungsseminar im Schwerpunkt „IT-SecRel“ **Research Seminar for the Focus “IT-SecRel“**	**PN 455010**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch nach Abstimmung mit dem jeweiligen Dozenten German or English in consultation with the respective lecturer
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „IT-SecRel“ Focus „IT-SecRel“
Lehrform/SWS Contact hours	2S Geeignete Seminare werden zu Beginn des Semesters durch Aushang sowie auf der Webseite der Fakultät bekannt gegeben — Suitable seminars will be announced at the beginning of the semester on the noticeboard and on the faculty website
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 30 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Werden von dem/der jeweiligen Dozierenden zu Beginn des Semesters bekanntgegeben Will be announced by the respective instructors at the beginning of the semester
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen	-

Applicability for other courses	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden lernen, sich selbständig in das gestellte Seminarthema, ein aktuelles Forschungsthema aus dem Schwerpunkt „IT Security and Reliability“, einzuarbeiten, es fachlich für einen Vortrag aufzubereiten und zu präsentieren. Kompetenzen: Selbständige Einarbeitung in ein Thema, schriftliche Erörterung, mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz — The students learn how to independently acquire a research topic in the focus area and to professionally prepare and present a lecture. Competencies: Developing a topic, written discourse, oral expression and presentation competence
Inhalt Course content	Erarbeitung des gestellten Themas aus dem Schwerpunkt „IT Security and Reliability“ anhand von wissenschaftlicher Literatur und dessen Präsentation — Elaboration of the set topic (focus “IT Security and Reliability“) based on scientific literature, and its presentation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Bewertung der schriftlichen Ausarbeitung (ca. 8-10 Seiten) und deren Präsentation. Dabei wird jeweils die mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz bzw. die schriftliche Erörterungskompetenz geprüft; für beide Leistungen wird eine gemeinsame Note vergeben. Die genaue Dauer der Präsentation wird von der Dozentin bzw. dem Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Evaluation of written work (approximately 8-10 pages) and presentation. In each case, the oral expression and presentation skills or written discussion skills will be considered; one mark is jointly awarded for both. The precise requirements on written and oral presentation will be announced at the beginning of the class.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Wird von dem/der Dozierenden bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

Forschungsseminar im Schwerpunkt „ITS“ **Research Seminar for the Focus “ITS“**	**PN 454010**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch nach Abstimmung mit dem jeweiligen Dozenten German or English in consultation with the respective lecturer
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ITS“ Focus „ITS“
Lehrform/SWS Contact hours	2S Geeignete Seminare werden zu Beginn des Semesters durch Aushang sowie auf der Webseite der Fakultät bekannt gegeben — Suitable seminars will be announced at the beginning of the semester on the noticeboard and on the faculty website
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 30 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Werden von dem/der jeweiligen Dozierenden zu Beginn des Semesters bekanntgegeben Will be announced by the respective instructors at the beginning of the semester
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen	-

Applicability for other courses	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden lernen, sich selbständig in das gestellte Seminarthema, ein aktuelles Forschungsthema aus dem Schwerpunkt „Intelligente Technische Systeme“, einzuarbeiten, es fachlich für einen Vortrag aufzubereiten und zu präsentieren. Kompetenzen: Selbständige Einarbeitung in ein Thema, schriftliche Erörterung, mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz — The students learn how to independently acquire a research topic in the focus area and to professionally prepare and present a lecture. Competencies: Developing a topic, written discourse, oral expression and presentation competence
Inhalt Course content	Erarbeitung des gestellten Themas aus dem Schwerpunkt „Intelligente Technische Systeme“ anhand von wissenschaftlicher Literatur und dessen Präsentation — Elaboration of the set topic (focus “Intelligent Technical Systems“) based on scientific literature, and its presentation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Bewertung der schriftlichen Ausarbeitung (ca. 8-10 Seiten) und deren Präsentation. Dabei wird jeweils die mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz bzw. die schriftliche Erörterungskompetenz geprüft; für beide Leistungen wird eine gemeinsame Note vergeben. Die genaue Dauer der Präsentation wird von der Dozentin bzw. dem Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Evaluation of written work (approximately 8-10 pages) and presentation. In each case, the oral expression and presentation skills or written discussion skills will be considered; one mark is jointly awarded for both. The precise requirements on written and oral presentation will be announced at the beginning of the class.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Wird von dem/der Dozierenden bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

Forschungsseminar im Schwerpunkt „ProgSoft“ **Research Seminar for the Focus “ProgSoft“**	**PN 453010**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch nach Abstimmung mit dem jeweiligen Dozenten German or English in consultation with the respective lecturer
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Modulgruppe „ProgSoft“ Focus „ProgSoft“
Lehrform/SWS Contact hours	2S Geeignete Seminare werden zu Beginn des Semesters durch Aushang sowie auf der Webseite der Fakultät bekannt gegeben — Suitable seminars will be announced at the beginning of the semester on the noticeboard and on the faculty website
Arbeitsaufwand Workload	30 Std. Präsenz + 120 Std. Vor- und Nachbereitung 30 contact hours + 120 hrs preparation and follow-up
ECTS Credits	5
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Werden von dem/der jeweiligen Dozierenden zu Beginn des Semesters bekanntgegeben Will be announced by the respective instructors at the beginning of the semester
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen	-

Applicability for other courses	
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Die Studierenden lernen, sich selbständig in das gestellte Seminarthema, ein aktuelles Forschungsthema aus dem Schwerpunkt „Programmierung und Softwaresysteme“, einzuarbeiten, es fachlich für einen Vortrag aufzubereiten und zu präsentieren. Kompetenzen: Selbständige Einarbeitung in ein Thema, schriftliche Erörterung, mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz — The students learn how to independently acquire a research topic in the focus area and to professionally prepare and present a lecture. Competencies: Developing a topic, written discourse, oral expression and presentation competence
Inhalt Course content	Erarbeitung des gestellten Themas aus dem Schwerpunkt „Programmierung und Softwaresysteme“ anhand von wissenschaftlicher Literatur und dessen Präsentation — Elaboration of the set topic (focus “Programming and Software Systems“) based on scientific literature, and its presentation
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Bewertung der schriftlichen Ausarbeitung (ca. 8-10 Seiten) und deren Präsentation. Dabei wird jeweils die mündliche Ausdrucks- und Präsentationskompetenz bzw. die schriftliche Erörterungskompetenz geprüft; für beide Leistungen wird eine gemeinsame Note vergeben. Die genaue Dauer der Präsentation wird von der Dozentin bzw. dem Dozenten zu Beginn der Veranstaltung bekanntgegeben. Evaluation of written work (approximately 8-10 pages) and presentation. In each case, the oral expression and presentation skills or written discussion skills will be considered; one mark is jointly awarded for both. The precise requirements on written and oral presentation will be announced at the beginning of the class.
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Wird von dem/der Dozierenden bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

Praktikum **Internship**	**PN 407680**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Alle Modulgruppen All focus areas
Lehrform/SWS Contact hours	Praktikum Internship
Arbeitsaufwand Workload	Mindestens 6 Wochen in Vollzeit (40h/Woche) = 240 Stunden, davon mindestens 50% (120 Stunden) studiumsrelevante Inhalte At least 6 weeks full-time (40 hours/week) = 240 hours, with a minimum of 50% of duties directly related to the degree subject
ECTS Credits	4
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Keine None
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Keine None
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Die Studierenden lernen unter der wissenschaftlichen Betreuung durch einen Hochschullehrer oder eine Hochschullehrerin

	den beruflichen Alltag in einem typischen Berufsfeld ihres Studienfachs kennen und erwerben Kenntnisse über die Tätigkeiten und Anforderungen. Darüber hinaus sollen auch betriebliche Zusammenhänge und Aspekte von Mitarbeiterführung und Management kennen gelernt werden. Fähigkeiten / Abilities Die Studierenden können im beruflichen Umfeld die im Studium erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen anwenden. Kompetenzen / Competencies Die Studierenden erwerben die Kompetenz, im beruflichen Umfeld zielgerichtet und im Team tätig zu sein. Sie kennen den Unterschied zwischen Studium und Praxis.
Inhalt Course content	Eine Praktikumstätigkeit in einem Wirtschaftsunternehmen, einer außeruniversitären, öffentlichen Verwaltungseinrichtung oder einer gemeinnützigen Organisation, die in einem engen Bezug zum späteren Berufsfeld und den Tätigkeitsanforderungen für Absolventen des Studiengangs steht. Das Praktikum wird gemäß den folgenden Richtlinien durchgeführt: • Das Praktikum umfasst mindestens 240 Stunden (= mind. 6 Wochen in Vollzeitarbeit), längere Praktika sind möglich, die Mehrzeit wird aber nicht als Studienleistung angerechnet. • Für Praktika eignen sich alle Betriebe und Einrichtungen im Bereich zukünftiger Berufsfelder für Absolventen des jeweiligen Studiengangs, sowie Tätigkeiten, bei denen die Anwendung von im Studium zu erwerbenden Kompetenzen auf Hochschulniveau nötig ist. Grundsätzlich nicht anerkannt werden Praktika, bei denen Tätigkeiten ausgeübt wurden, in denen Kompetenzen des Studiengangs keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielt, etwa reine Büro- oder Verwaltungstätigkeiten. • Das Praktikum wird von einem Hochschullehrer oder einer Hochschullehrerin des entsprechenden Fachbereichs wissenschaftlich betreut, der als Prüfer oder die als Prüferin im Studiengang bestellt ist. • Die Studierenden suchen für sie geeignete Praktika und beteiligen sich an der Organisation des Praktikums. Der betreuende Hochschullehrer oder die betreuende Hochschullehrerin kann die Studierenden bei der Suche unterstützen und berät gegebenenfalls die Studierenden fachlich während der Durchführung des Praktikums. • Ein Praktikum kann entweder in einem Block oder in mehreren Abschnitten durchgeführt werden. Jeder Ab-

schnitt des Praktikums ist dem oder der Modulverantwortlichen zur Kenntnis zu bringen. Die Information des oder der Modulverantwortlichen soll rechtzeitig schriftlich unter Angabe des Betreuers oder der Betreuerin, des Betriebs sowie der Art und Dauer der vorgesehenen Tätigkeit erfolgen.

Spätestens zwei Monate nach Abschluss des Praktikums sind dem betreuenden Hochschullehrer oder der betreuenden Hochschullehrerin qualifizierende Zeugnisse über die Tätigkeit und ein Praktikumsbericht vorzulegen. Der betreuende Hochschullehrer oder die betreuende Hochschullehrerin beurteilt unter Verwendung dieser Unterlagen und eines Prüfungsgesprächs die erfolgreiche Durchführung des Praktikums.

—

Organisational guidelines for acceptance, supervision and approval of internships:

Students must follow these guidelines if they wish to complete an internship at a business enterprise or external public-sector administrative body to be credited as a compulsory elective module. To be eligible, these internships must be within a professional field closely related to the study programme and require a skill set that closely matches the profiles of graduates in computer science or mathematics.

The internship must be project-based; general student employment (called 'Werkstudententätigkeit') or past completed internships without scholarly supervision cannot be credited. Before the beginning of the internship, a professor involved in the study programme has to determine the (potential) adequacy of the internship and agree to assume supervision responsibilities. Therefore, the student has to provide documents signed by representatives of the company or organisation, which must include the following:

- company/organisation name and address
- starting date and end date of the internship
- confirmation of supervision by the company and the name and contact details of the local supervisor (including e-mail address and telephone number)
- description of the internship, including:
  - description of duties, i.e. a detailed, step-by-step description of your work and envisaged outcomes ('milestones')
  - detailed timetable for the project
  - specifications of the objectives (i.e. 'what should be achieved?')
  - this must be signed by the company/local super-

	visor The professor checks the documents and decides if the internship is potentially adequate and may require that modifications be made to the internship description. If he/she determines the adequacy of the internship, he/she will send a letter confirming supervision. During the internship, the student is obligated to submit regular progress reports. After the internship: • The student provides all the documents which are stated in the module description, especially the recognition form, to the professor after the end of the internship. In particular, the final internship report must be signed by the company/local supervisor. • A date for a final oral examination will be set if all required documents are complete. – After the oral examination (which will last approx. 20 minutes) a copy of the form, the final internship report, a qualifying certificate about the internship issued by the company, and the minutes (i.e. written record) of the oral examination will be sent to the Dean of Studies and to the module convenor. – All original documents should be submitted to the Examinations Office ('Prüfungssekretariat').
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Praktikumsbericht und Prüfungsgespräch (ca. 20 min), **unbenotet** Internship report and oral examination (approx. 20 minutes), **ungraded**
Medienformen Media used	-
Literatur Reading list	Formular zum Antrag auf Anerkennung / acceptance form Organisatorische Richtlinien für die Annahme, Betreuung und Abnahme von Praktika / Organisational guidelines

Präsentation der Masterarbeit Informatik **Presentation of the Master's Thesis**	**PN 458999**
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Doziernde All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Alle Dozierende All lecturers
Sprache Language of instruction	Deutsch oder Englisch German or English
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Pflichtmodul Compulsory module
Lehrform/SWS Contact hours	-
Arbeitsaufwand Workload	90 Std. Eigenarbeitszeit (+Präsenz) 90 hrs independent study (+contact hours)
ECTS Credits	3
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per the study and examination regulations	Abgabe der Masterarbeit (FStuPO §4 Abs. 2 Satz 2) The master's thesis has to be submitted
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	-
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Fähigkeit der/des Studierenden die Ergebnisse der Arbeit kurz und verständlich zusammenzufassen und in einer fachlichen Diskussion zu vertreten — Ability of the student to present the results of his or her thesis in a short and comprehensible way and to discuss the results in a professional way

Inhalt Course content	Darstellung der in der Arbeit erworbenen Erkenntnisse sowie kurze Diskussion — Presentation of the results of his or her thesis and a short discussion
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Präsentation (ca. 20 Minuten oder ca. 45 Minuten); die genaue Prüfungsdauer wird vom Prüfer bzw. der Prüferin vorher bekannt gegeben. *[Beschluss des Prüfungsausschusses vom 10. Mai 2017]* Presentation (approx. 20 or 45 minutes); the precise mode of assessment will be announced by the examiner beforehand. *[Decision of 10 May 2017 by the board of examiners]*
Medienformen Media used	Beamer, Tafel, Overheadprojektor Projector, blackboard
Literatur Reading list	Wird von dem/der Dozierenden bekanntgegeben Will be announced by the lecturer

Masterarbeit Informatik **PN 459900** **Master's Thesis in Computer Science**	
Häufigkeit des Modulangebots Frequency of course offering	Jedes Semester Every semester
Moduldauer Module duration	1 Semester
Modulverantwortliche(r) Module convenor	Alle Dozierende All lecturers
Dozent(in) Lecturer	Erstbetreuer der Masterarbeit (durch den Prüfungsausschuss bestellte Prüfer) gemäß §21(2) AStuPO, mit begründetem Antrag und nach Genehmigung durch den Prüfungsausschuss ggf. gemäß §21(3) AStuPO (First) supervisor of the master's thesis (an examiner appointed by the board of examiners) as per § 21 para. 2 AStuPO, or (if appropriate) by submitting a reasoned request and after approval by the board of examiners as per § 21 para. 3 AStuPO
Sprache Language of instruction	Die Masterarbeit ist in deutscher oder englischer Sprache abzufassen. Auf Antrag gemäß §21(5) AStuPO auch in einer anderen Sprache. The master's thesis shall be written in German or English. By request as per § 21 para. 5 AStuPO also in another language.
Zuordnung zum Curriculum Curriculum	Pflichtmodul Compulsory module
Lehrform/SWS Contact hours	Eigenständige Bearbeitung eines komplexen Themas und Erstellung einer wissenschaftlichen Ausarbeitung The goal is to research a complex topic and to write a scientific work
Arbeitsaufwand Workload	Präsenzzeit (Besprechung/Diskussion des Fortschritts): 15h, Vor- und Nachbereitung, Anfertigung der Ausarbeitung: 795h Summe: 810h Contact hours (meetings/discussions on progress): 15 hrs, independent study and writing the master's thesis: 795 hrs In sum: 810 hrs
ECTS Credits	27
Voraussetzungen nach Prüfungsordnung Required prerequisites as per	Gemäß §20 (1) AStuPO As per § 20 (1) AStuPO

the study and examination regulations	
Empfohlene Vorkenntnisse Recommended skills	Die Veranstaltungen im Master–Studiengang bis einschließlich dem dritten Semester. All courses of the master programme up to the third semester.
Verwendbarkeit in weiteren Studiengängen Applicability for other courses	-
Angestrebte Lernergebnisse Learning outcomes	Kenntnisse / Skills/Knowledge Selbstständiges Einarbeiten und wissenschaftlich methodische Bearbeitung eines für die Informatik relevanten Themas. Die Studierenden verwenden etablierte Methoden oder passen bestehende Ansätze an, während sie sich an die Standards der akademischen Arbeit halten. Sie haben die Möglichkeit, ihre eigenen Ideen zu entwickeln, zu verfeinern und zu formulieren und kritisch mit der Literatur zu arbeiten. — The students learn how to independently acquire a research topic and to work on a relevant topic in computer science scientifically based and methodically sound. The students use established methods or adapt existing approaches while adhering to academic standards. They have the opportunity to develop, to refine and to formulate their own ideas and to take a critical review of the state of the art. Fähigkeiten / Abilities Der bzw. die Studierende kann die wissenschaftlichen Methoden der Themenschwerpunkte des Studiengangs und die grundlegenden Techniken des wissenschaftlichen Arbeitens, insb. der Literaturrecherche, anwenden, um ein vorgegebenes Thema eigenständig zu bearbeiten. — The students are able to use the scientific methods of the focus areas of the programme and to use the basic techniques of scientific research, in particular, literature review, to work independently on a given subject. Kompetenzen / Competencies Der bzw. die Studierende besitzt die Kompetenz, dass er oder sie in der Lage ist, ein Problem aus den Themenschwerpunkten des Studiengangs innerhalb einer vorgegebenen Frist selbständig mit wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten, erfolgreich zu lösen, und die Ergebnisse wissenschaftlich adäquat schriftlich darzustellen und zu bewerten. —

	The students will acquire the competence to work independently on a problem from the focus areas of the programme within a specified timeframe using scientific methods, to solve this problem successfully and to write down and evaluate the results in a adequate scientific way.
Inhalt Course content	Wird von dem/der Dozierenden bekanntgegeben. Die Inhalte werden in Abhängigkeit von der konkreten Themenstellung ausgewählt und bekanntgegeben. — Will be announced by the lecturer. The contents are selected and announced dependent on the specific topic.
Studien-/Prüfungsleistungen Assessment	Schriftliche Ausarbeitung, ggf. inkl. der verwendeten Quellen (wissenschaftliche Arbeiten, Programm-Bibliotheken, etc.), sowie ggf. dokumentierter und funktionsfähiger Quelltext inkl. aller zur Bewertung notwendigen Informationen, sowie ggf. einer Systemdemonstration Written thesis, possibly accompanied by the sources used (research articles, program libraries etc.) and, if appropriate, documented and fully functional and executable source code including all informations which are necessary for the evaluation and, if appropriate, a system demonstration
Medienformen Media used	Abhängig von der konkreten Themenstellung Dependent on the specific topic
Literatur Reading list	Wird von dem/der Dozierenden bekanntgegeben. Die Literatur wird in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung ausgewählt und bekanntgegeben. Will be announced by the lecturer. A reading list will be selected and announced dependent on the specific assignment.