



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Bachelor

**Master**

Doktorat

Universitäts-  
lehrgang

Studienplan (Curriculum)  
für das  
**Masterstudium**  
**Technische Informatik**  
**E 066 938**

Technische Universität Wien  
Beschluss des Senats der Technischen Universität Wien  
mit Wirksamkeit 24. Juni 2019

Gültig ab 1. Oktober 2019

# Inhaltsverzeichnis

1. Grundlage und Geltungsbereich	3
2. Qualifikationsprofil	3
3. Dauer und Umfang	4
4. Zulassung zum Masterstudium	5
5. Aufbau des Studiums	6
6. Lehrveranstaltungen	12
7. Prüfungsordnung	12
8. Studierbarkeit und Mobilität	13
9. Diplomarbeit	14
10. Akademischer Grad	14
11. Qualitätsmanagement	14
12. Inkrafttreten	16
13. Übergangsbestimmungen	16
A. Modulbeschreibungen	17
B. Lehrveranstaltungstypen	41
C. Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen	42
D. Semesterempfehlung für schief einsteigende Studierende	43
E. Prüfungsfächer mit den zugeordneten Modulen und Lehrveranstaltungen	44
F. Wahlfachkatalog „Transferable Skills“	49
G. Erweiterungsstudium Innovation	50

# 1. Grundlage und Geltungsbereich

Der vorliegende Studienplan definiert und regelt das ingenieurwissenschaftliche, englischsprachige Masterstudium *Technische Informatik* an der Technischen Universität Wien. Es basiert auf dem Universitätsgesetz 2002 – UG (BGBl. I Nr. 120/2002 idgF.) – und den *Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien* in der jeweils geltenden Fassung. Die Struktur und Ausgestaltung dieses Studiums orientieren sich am Qualifikationsprofil gemäß Abschnitt 2.

# 2. Qualifikationsprofil

Das Masterstudium *Technische Informatik* ist der forschungsgeleiteten Vertiefung jener Kenntnisse und Fertigkeiten gewidmet, wie sie aus dem Bachelorstudium Technische Informatik oder ähnlichen Studien vorausgesetzt werden können. Besonderes Augenmerk liegt auf der Integration von Informatik, Mathematik und Systemtheorie/Elektrotechnik, wobei der methodisch-wissenschaftliche Zugang aus der Computer Science-Perspektive erfolgt. Aufbauend auf fortgeschrittenen Grundlagen in Diskreter Mathematik, formalen Methoden sowie Algorithmen/Programmierung ist das MTI primär dem Rigorous Systems Engineering von zuverlässigen, hybriden und autonomen Cyber-Physical Systems gewidmet: System- und Fehlermodelle, stochastische und logische Grundlagen, Programmiersprachen und Algorithmen, Hardware/Software-Architekturen, Analyse von Parallelität und Echtzeit-Verhalten, Korrektheitsbeweise und formale Verifikation bis hin zu Model-based Design/Testing und Synthese. Diese Inhalte werden, aufbauend auf einigen wenigen zentralen Grundlagenfächern, hauptsächlich durch die freie Wahl von mindestens 3 aus 6 *Schlüsselbereichen* (SB) der Technischen Informatik vermittelt.

- Automation
- Computer-Aided Verification
- Cyber-Physical Systems
- Dependable Distributed Systems
- Digital Circuits and Systems
- Digital Signal Processing and Communication

Jeder Schlüsselbereich besteht aus einem als „Gatekeeper“ agierenden Pflicht-Modul und einem Wahlfach-Modul, aus dem thematisch relevante Lehrveranstaltungen frei gewählt werden können; gegebenenfalls kommen noch entsprechende Auflagen für die Studienzulassung dazu.

Das Masterstudium *Technische Informatik* macht seine Absolvent\_innen somit sowohl für die Höherqualifizierung im Rahmen eines facheinschlägigen Doktoratsstudiums als auch für die Tätigkeit in beispielsweise folgenden Bereichen international konkurrenzfähig:

- Wissenschaftliche und industrielle Forschung

- Systemanalyse, Entwurf und Validierung von zuverlässigen, hybriden und autonomen Cyber-Physical Systems

Aufgrund der beruflichen Anforderungen werden im Masterstudium *Technische Informatik* Qualifikationen hinsichtlich folgender Kategorien vermittelt.

### **Fachliche und methodische Kompetenzen**

- Vertiefende mathematische Grundlagen und Methoden (Diskrete Mathematik)
- Vertiefende Grundlagen, Konzepte und Methoden in Kerngebieten der Informatik (Formale Methoden, Algorithmen/Programmierung)
- Vertiefende Grundlagen, Konzepte und Methoden in den gewählten Schlüsselbereichen
- Vertiefende Grundlagen und Methoden in ausgewählten Gebieten anderer technischer Wissenschaften

### **Kognitive und praktische Kompetenzen**

- Wissenschaftlich fundierte Systemanalyse
- Integrative Sichtweise
- Wahl geeigneter wissenschaftlicher Methoden zur Modellbildung und Abstraktion, Lösungsfindung und Evaluation
- Inkrementelle Erweiterung existierender formal-mathematischer Grundlagen und Methoden zur Modellbildung, Lösungsfindung und Evaluation
- Umfassende und präzise schriftliche Dokumentation von Lösungen und deren kritischer Evaluation im einem interdisziplinären Umfeld, sowie Fähigkeit zur überzeugenden Präsentation

### **Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen**

- Kreativität und Innovationskompetenz
- Neugierde, Eigeninitiative, Ausdauer, Flexibilität
- Selbstorganisation und Eigenverantwortlichkeit
- Teamfähigkeit
- Verantwortungsvoller Umgang mit Menschen, beruflichen und sozialen Gruppen in allen Tätigkeiten

## **3. Dauer und Umfang**

Der Arbeitsaufwand für das Masterstudium *Technische Informatik* beträgt 120 ECTS-Punkte. Dies entspricht einer vorgesehenen Studiendauer von 4 Semestern als Vollzeitstudium.

ECTS-Punkte sind ein Maß für den Arbeitsaufwand der Studierenden. Ein Studienjahr umfasst 60 ECTS-Punkte.

## 4. Zulassung zum Masterstudium

Die Zulassung zum Masterstudium *Technische Informatik* setzt den Abschluss eines fachlich in Frage kommenden Bachelorstudiums oder Fachhochschul-Bachelorstudienganges oder eines anderen gleichwertigen Studiums an einer anerkannten in- oder ausländischen postsekundären Bildungseinrichtung voraus.

Ein Studium kommt fachlich in Frage, wenn es Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen inhaltlich und qualitativ äquivalent zu folgenden Modulen des Bachelorstudiums *Technische Informatik* vermittelt:

*Algebra und Diskrete Mathematik*

*Analysis*

*Wahrscheinlichkeitstheorie und Stochastische Prozesse*

*Einführung in die Programmierung*

*Algorithmen und Datenstrukturen*

*Theoretische Informatik und Logik*

*Betriebssysteme und Computernetzwerke* oder *Betriebssysteme*

Fachlich in Frage kommen jedenfalls die Bachelor-, Master- und Diplomstudien der Fakultät für Informatik, der Fakultät für Mathematik und Geoinformation, der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik und der Fakultät für Physik der TU Wien, sofern die oben aufgezählten Grundvoraussetzungen entweder schon im Rahmen ergänzender Wahlveranstaltungen innerhalb dieser Studien erworben wurden oder aber im Rahmen von Zulassungsaufgaben nach der Zulassung zum Masterstudium *Technische Informatik* absolviert werden. Diese Auflagen (die zusammen mit eventuellen weiteren Auflagen für die Schlüsselbereiche 30 ECTS nicht überschreiten dürfen) sind vor der Absolvierung der Pflicht- und Wahlmodule des Masterstudiums *Technische Informatik* zu erfüllen. Davon ausgenommen ist das Modul *Discrete Mathematics*, das bereits davor absolviert werden kann. Alle Auflagen können im Modul *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* verwendet werden.

Darüberhinaus sind für einige der Schlüsselbereiche Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen äquivalent zu folgenden Modulen des Bachelorstudiums *Technische Informatik* nachzuweisen:

- Automation: *Dezentrale Automation*
- Digital Circuits and Systems: *Digital Design*
- Digital Signal Processing and Communication: *Signale und Systeme*
- Cyber-Physical Systems: *Modellbildung und Regelungstechnik, Microcontroller*

Wenn diese Wahlvoraussetzungen ganz oder teilweise fehlen, können sie durch die Absolvierung zusätzlicher Lehrveranstaltungen erworben werden, die als Zulassungsaufgabe vorgeschrieben werden. Diese Auflagen sind vor der Absolvierung der Pflicht- und Wahlmodule des jeweiligen Schlüsselbereichs zu erfüllen. Sie können ebenfalls im Modul *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* verwendet werden.

Die Anwendung dieser Regeln auf fachlich in Frage kommende Bachelorstudien an der Technischen Universität Wien ergibt konkret folgende Auflagen:

- Bachelorstudium *Technische Informatik*: Keine.
- Bachelorstudium *Software & Information Engineering*: Je nach gewählten Schlüsselbereichen *Dezentrale Automation, Digital Design, Signale und Systeme* bzw. *Modellbildung und Regelungstechnik* und *Microcontroller*
- Bachelorstudien *Medizinische Informatik* und *Medieninformatik und Visual Computing*: *Betriebssysteme* oder *Betriebssysteme und Computernetzwerke* sowie je nach gewählten Schlüsselbereichen *Dezentrale Automation, Digital Design, Signale und Systeme* bzw. *Modellbildung und Regelungstechnik* und *Microcontroller*
- Bachelor *Elektrotechnik*: *Algorithmen und Datenstrukturen, Theoretische Informatik und Logik, Betriebssysteme* oder *Betriebssysteme und Computernetzwerke*
- Bachelor *Technische Mathematik, Statistik und Wirtschaftsmathematik, Technische Physik*: *Algorithmen und Datenstrukturen, Theoretische Informatik und Logik, Betriebssysteme* oder *Betriebssysteme und Computernetzwerke* sowie je nach gewählten Schlüsselbereichen *Dezentrale Automation, Digital Design, Signale und Systeme* bzw. *Modellbildung und Regelungstechnik* und *Microcontroller*

Personen, deren Erstsprache nicht Englisch ist, haben die Kenntnis der englischen Sprache nachzuweisen. Für einen erfolgreichen Studienfortgang werden Englischkenntnisse nach Referenzniveau B2 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens für Sprachen empfohlen.

## 5. Aufbau des Studiums

Die Inhalte und Qualifikationen des Studiums werden durch *Module* vermittelt. Ein Modul ist eine Lehr- und Lerneinheit, welche durch Eingangs- und Ausgangsqualifikationen, Inhalt, Lehr- und Lernformen, den Regelarbeitsaufwand sowie die Leistungsbeurteilung gekennzeichnet ist. Die Absolvierung von Modulen erfolgt in Form einzelner oder mehrerer inhaltlich zusammenhängender *Lehrveranstaltungen*. Thematisch ähnliche Module werden zu *Prüfungsfächern* zusammengefasst, deren Bezeichnung samt Umfang und Gesamtnote auf dem Abschlusszeugnis ausgewiesen wird.

### Prüfungsfächer und zugehörige Module

Das Masterstudium *Technische Informatik* gliedert sich in nachstehende Prüfungsfächer mit den ihnen zugeordneten Modulen. Neben den Pflichtmodulen sind mindestens 3 Schlüsselbereiche (SB) zu wählen, deren in den entsprechenden Prüfungsfächern zuerst angeführte *Gatekeeper-Module* auf jeden Fall zu absolvieren sind. Wahlfächer können beliebig aus den Wahl-Modulen (mit \* gekennzeichnet) der gewählten Schlüsselbereiche sowie aus den Modulen

- \*Wahlmodul Mathematics and Theoretical Computer Science
- \*Wahlmodul Algorithms and Programming
- \*Wahlmodul Verbreiterung

gewählt werden, sodass zusammen mit der Diplomarbeit und den *freien Wahlfächern und Transferable Skills* mindestens 120 ECTS erreicht werden. Allerdings müssen in den Wahl-Modulen enthaltene zusammengehörende VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden; Seminare, Praktika und Projektarbeiten können höchstens einmal gewählt werden. Wahlfächer aus Wahl-Modulen von Schlüsselbereichen, deren Gatekeeper-Modul nicht positiv absolviert wurde, können für den Studienabschluss nicht verwendet werden. Werden in den Schlüsselbereichen und Wahlmodulen insgesamt mehr als 58.5 ECTS absolviert, können im Modul *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* im gleichen Ausmaß weniger ECTS absolviert werden, jedoch sind darin mindestens 4,5 ECTS aus dem Bereich der Transferable Skills zu absolvieren.

### **Mathematics and Theoretical Computer Science**

Discrete Mathematics (9 ECTS)

Formal Methods in Computer Science (9.0 ECTS)

\*Wahlmodul Mathematics and Theoretical Computer Science

### **Algorithms and Programming**

Advanced Multiprocessor Programming (4,5 ECTS)

\*Wahlmodul Algorithms and Programming

### **Dependable Distributed Systems (SB)**

Verteilte Algorithmen (6 ECTS)

\*Wahlmodul Dependable Distributed Systems

### **Digital Circuits and Systems (SB)**

Advanced Digital Design and Computer Architecture (9 ECTS)

\*Wahlmodul Digital Circuits and Systems

### **Digital Signal Processing and Communication (SB)**

Signal Processing (9 ECTS)

\*Wahlmodul Digital Signal Processing and Communication

### **Computer-Aided Verification (SB)**

Computer-Aided Verification (6 ECTS)

\*Wahlmodul Computer-Aided Verification

## **Cyber-Physical Systems (SB)**

Stochastische Grundlagen von Cyber-Physical Systems (6 ECTS)

\*Wahlmodul Cyber-Physical Systems

## **Automation (SB)**

Information Technology in Automation (6 ECTS)

\*Wahlmodul Automation

## **Verbreiterung**

\*Wahlmodul Verbreiterung

## **Freie Wahlfächer und Transferable Skills**

Freie Wahlfächer und Transferable Skills (9,0 ECTS)

## **Diplomarbeit**

Siehe Abschnitt 9.

## **Kurzbeschreibung der Module**

Dieser Abschnitt charakterisiert die Module des Masterstudiums *Technische Informatik* in Kürze. Eine ausführliche Beschreibung ist in Anhang A zu finden.

**Advanced Digital Design and Computer Architecture (9 ECTS)** Dieses Modul vermittelt Wissen und praktische Fertigkeiten für die Lösung herausfordernder und komplexer Probleme in den Bereichen des digitalen Design und der Rechnerarchitekturen. Dieses Modul vermittelt Studierenden die Konzepte sowie ein tiefes Verständnis für Optimierung im Kontext von anspruchsvollen digitalen Designs und Computerdesigns, sowie für zeitgemäße Forschung in diesen Bereichen. Ein spezieller Fokus liegt hierbei auf Schaltungsarchitekturen, die einer traditionellen synchronen Lösung nicht zugänglich sind, sowie auf grundlegenden Konzepten und Technologien für fortgeschrittene Rechnerarchitekturen mit speziellen Features hinsichtlich ihrer Rechenleistung und ihrer Energieeffizienz.

**Advanced Multiprocessor Programming (4,5 ECTS)** Dieses Modul bietet eine Einführung in die Theorie und Programmierung von Shared-Memory Multiprozessorsystemen. Es vermittelt ein tiefergehendes Verständnis von Speichermodellen, grundlegenden Synchronisations- und Koordinationsproblemen und Task Scheduling sowie deren Einschränkungen und eine Übersicht über die wichtigsten Arten von parallelen Datenstrukturen und Algorithmen. Durch ein begleitendes Programmierprojekt werden die



vermittelten Grundlagenkenntnisse von lockfreien Algorithmen für die wichtigsten Datenstrukturen für Systeme mit gemeinsamem Speicher vertieft und praxisrelevant ergänzt.

**Computer-Aided Verification (6 ECTS)** Diese Vorlesung beschäftigt sich mit fortgeschrittenen automatischen Verifikationstechniken, insbesondere aber mit aktuellen Model-Checking-Algorithmen. Ziel ist, sowohl theoretische Grundlagen als auch praktische Kenntnisse der Anwendung automatisierter Verifikationswerkzeuge zu vermitteln.

**Discrete Mathematics (9 ECTS)** Diese Lehrveranstaltung ist eine fortgeschrittene Einführung in diskrete mathematische Methoden und Algorithmen für Anwendungen in der Informatik. Sie deckt zentrale Aspekte aus der Kombinatorik und Graphentheorie, der angewandten Zahlentheorie und Algebra ab.

**Freie Wahlfächer und Transferable Skills (9,0 ECTS)** Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls dienen der Vertiefung des Faches sowie der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen.

**Formal Methods in Computer Science (9.0 ECTS)** Dieses Modul beinhaltet eine fortgeschrittene Einführung in formale Methoden der Informatik. Es behandelt zentrale Aspekte der Theorie der Berechenbarkeit, von Entscheidungsverfahren, der Semantik von Programmiersprachen sowie der formalen Verifikation.

**Information Technology in Automation (6 ECTS)** Das Zusammenspiel von Ubiquitous Computing, Fog/Cloud Computing sowie Internet of Things and Services eröffnet neue Anwendungsfelder und -möglichkeiten für die Automatisierungstechnik, bringt aber auch quantitativ und qualitativ neue Herausforderungen hinsichtlich ihrer Integration in eine einheitliche Gesamtarchitektur. Den Studierenden soll im Rahmen des Moduls ein tiefgreifendes Verständnis zu den Themen vertikale und horizontale Integration im automatisierungstechnischen Umfeld vermittelt werden.

**Signal Processing (9 ECTS)** Das Modul vermittelt grundlegendes Wissen über Theorie und Methoden der digitalen Signalverarbeitung in deterministischen und stochastischen Systemmodellen der Nachrichtentechnik und Elektrotechnik. Es kombiniert eine fundierte Einführung in lineare Operatoren im Hilbertraum, Transformationen und Unterraumtechniken sowie deren Anwendung in der Verarbeitung deterministischer Signale mit einer fortgeschrittenen Einführung in die Theorie, mathematische Beschreibung und elementare Verarbeitung von Zufallsvariablen, Zufallsvektoren und Zufallssignalen (stochastischen Prozessen). Durch begleitende Übungen wird die mathematische Durchdringung der Grundlagen und Methoden der Verarbeitung deterministischer und stochastischer Signale sichergestellt und Grundfertigkeiten im Design und der Analyse geeigneter Verfahren in verschiedenen Anwendungsgebieten vermittelt.

**Stochastische Grundlagen von Cyber-Physical Systems (6 ECTS)** Dieses Modul bietet eine fortgeschrittene Einführung in die stochastischen Grundlagen der Cyber-Physical Systems (CPS), also der physikalischen oder biologischen Systeme, deren Betrieb durch einen Computer überwacht und gesteuert wird. Das Modul erlaubt Studierenden, sowohl formal-mathematische Fähigkeiten im Allgemeinen zu entwickeln und

sich auch mit automatisierten Werkzeugen und grundlegenden Techniken zum Erlernen von CPS-Modellen, Schätzen ihrer internen Zustände und zum optimalen Steuern eines CPS, vertraut zu machen. Die Studierenden werden auch die notwendigen Fähigkeiten erwerben, um die Komplexität und die Korrektheit dieser Werkzeuge und Techniken zu analysieren. Eine Anzahl von begleitenden Übungsbeispiele und Tests werden das kontinuierliche Engagement der Studierenden während des gesamten Semesters fördern.

**Verteilte Algorithmen (6 ECTS)** Dieses Modul bietet eine Einführung in verteilte Algorithmen und deren formal-mathematische Analyse. Neben der generellen Weiterentwicklung formal-mathematischer Fertigkeiten soll es den Absolventen erlauben, Modelle, Probleme, Algorithmen und Korrektheitsbeweise im Bereich Distributed Computing zu verstehen, existierende Lower-Bounds und Impossibility-Resultate in neuen Situationen anzuwenden, neue verteilte Algorithmen für spezielle Problemstellungen zu entwickeln und deren Korrektheit zu beweisen, und neue Lower-Bounds und Impossibility-Resultate zu finden. Durch intensive begleitende Übungsbeispiele und regelmäßige Tests wird eine kontinuierliche Beschäftigung mit dem in der Vorlesung vorgestellten Stoff sichergestellt.

**Wahlmodul Algorithms and Programming** Dieses Modul enthält Lehrveranstaltungen, die der Verbreiterung und Vertiefung dieser wesentlichen Grundlagen für die Technische Informatik dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können. Die Wahl ist frei, allerdings müssen enthaltene VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Automation** Der Schlüsselbereich Automation vermittelt die Kompetenz, vernetzte Steuerungssysteme aufzubauen und hierarchisch Informationen auszutauschen, um automatisierungstechnische Anlagen kontrollieren und überwachen zu können. Die Lehrveranstaltungen des Schlüsselbereichs reichen von der Sensorik und Aktuatorik auf der untersten Maschinenebene bis hin zur Integration einzelner Komponenten durch standardisierte informationstechnische Schnittstellen. Dieses Wahlmodul enthält Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung dieses Schlüsselbereichs dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können, sofern das entsprechende Gatekeeper-Modul absolviert wird. Die Wahl ist frei, allerdings müssen zusammengehörige VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Computer-Aided Verification** Der Schlüsselbereich Computer-Aided Verification befasst sich mit Methoden, Algorithmen und Entwicklungswerkzeugen für die automatische Analyse und Verifikation von Systemen und der automatisierten Überprüfung von Eigenschaften wie Zuverlässigkeit und Programmtermination. Konkrete Inhalte sind unter anderem die Synthese von Programmen aus Spezifikationen („correctness by construction“) und automatische Verfahren zum Auffinden von Softwarefehlern. Dieses Wahlmodul enthält Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung dieses Schlüsselbereichs dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können, sofern das entsprechende Gatekeeper-Modul absolviert wird. Die Wahl ist frei, allerdings müssen zusammengehörige VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Cyber-Physical Systems** Der Schlüsselbereich Cyber-Physical Systems vermittelt Kenntnisse und Fertigkeiten in Theorie, Modellierung, Design und Analyse

von eingebetteten Computersystemen, die das Herzstück des Internet-of-Things bilden. Besondere Schwerpunkte liegen in den Bereichen Stochastic and Hybrid Systems, Control Theory, Autonomous Systems und Real-Time Systems. Dieses Wahlmodul enthält Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung dieses Schlüsselbereichs dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können, sofern das entsprechende Gatekeeper-Modul absolviert wird. Die Wahl ist frei, allerdings müssen zusammengehörige VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Dependable Distributed Systems** Der Schlüsselbereich Dependable Distributed Systems vermittelt Kenntnisse in der Theorie und in den konzeptuellen Grundlagen verteilter Systemen, mit speziellem Fokus auf Dependability (Fehlertoleranz, Safety, Security), sowie Fertigkeiten in der Spezifikation, Modellierung, Analyse und im Design derartiger Systeme. Dieses Wahlmodul enthält Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung dieses Schlüsselbereichs dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können, sofern das entsprechende Gatekeeper-Modul absolviert wird. Die Wahl ist frei, allerdings müssen zusammengehörige VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Digital Circuits and Systems** Der Schlüsselbereich Digital Circuits and Systems vermittelt theoretische/methodische Kenntnisse sowie praktische Fertigkeiten in der Modellierung, dem Design und der Analyse moderner digitaler Hardware und HW/SW-Interfaces. Das Spektrum der Lehrveranstaltungen des Schlüsselbereichs reicht von Timing-Paradigmen und asynchronem Design über Low-Power/Energy-efficient Design bis hin zu Strategien der Optimierung durch Methoden des HW/SW Codesign. Dieses Wahlmodul enthält Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung dieses Schlüsselbereichs dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können, sofern das entsprechende Gatekeeper-Modul absolviert wird. Die Wahl ist frei, allerdings müssen zusammengehörige VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Digital Signal Processing and Communication** Der Schlüsselbereich Digital Signal Processing and Communication vermittelt Kenntnisse in der Theorie und im Engineering signalverarbeitender Systeme, mit speziellem Fokus auf Kommunikationssysteme, sowie solide Fertigkeiten in deren Modellierung, Analyse und Design. Dieses Wahlmodul enthält Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung dieses Schlüsselbereichs dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können, sofern das entsprechende Gatekeeper-Modul absolviert wird. Die Wahl ist frei, allerdings müssen zusammengehörige VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Mathematics and Theoretical Computer Science** Dieses Modul enthält Lehrveranstaltungen, die der Verbreiterung und Vertiefung dieser wesentlichen Grundlagen für die Technische Informatik dienen und von den Studierenden für das entsprechende Prüfungsfach gewählt werden können. Die Wahl ist frei, allerdings müssen enthaltene VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

**Wahlmodul Verbreiterung** Dieses Modul enthält Lehrveranstaltungen, die der Verbreiterung in relevanten Teilgebieten der Technische Informatik dienen und thematisch nicht in die spezifischen Wahlmodule passen. Sie können von den Studierenden für das

Prüfungsfach *Verbreiterung/Vertiefung* frei gewählt werden, allerdings müssen enthaltene VO+UE/LU gemeinsam gewählt werden.

## 6. Lehrveranstaltungen

Die Stoffgebiete der Module werden durch Lehrveranstaltungen vermittelt. Die Lehrveranstaltungen der einzelnen Module sind in Anhang A in den jeweiligen Modulbeschreibungen spezifiziert. Lehrveranstaltungen werden durch Prüfungen im Sinne des UG beurteilt. Die Arten der Lehrveranstaltungsbeurteilungen sind in der Prüfungsordnung (Abschnitt 7) festgelegt.

Betreffend die Möglichkeiten der Studienkommission, Module um Lehrveranstaltungen für ein Semester zu erweitern, und des Studienrechtlichen Organs, Lehrveranstaltungen individuell für einzelne Studierende Wahlmodulen zuzuordnen, wird auf § 27 des Studienrechtlichen Teils der Satzung der TU Wien verwiesen.

## 7. Prüfungsordnung

Der positive Abschluss des Masterstudiums erfordert:

1. die positive Absolvierung der im Studienplan vorgeschriebenen Module, wobei ein Modul als positiv absolviert gilt, wenn die ihm gemäß Modulbeschreibung zuzurechnenden Lehrveranstaltungen positiv absolviert wurden,
2. die Abfassung einer positiv beurteilten Diplomarbeit,
3. die Erstellung eines Posters über die Diplomarbeit, das der Technischen Universität Wien zur nicht ausschließlichen Verwendung zur Verfügung zu stellen ist, und
4. die positive Absolvierung des Seminars für Diplomand\_innen sowie der kommissionellen Abschlussprüfung. Diese erfolgt mündlich vor einem Prüfungssenat gemäß § 12 und § 19 der *Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien* und dient der Präsentation und Verteidigung der Diplomarbeit und dem Nachweis der Beherrschung des wissenschaftlichen Umfeldes. Dabei ist vor allem auf Verständnis und Überblickswissen Bedacht zu nehmen. Die Anmeldevoraussetzungen zur kommissionellen Abschlussprüfung gemäß § 18 (1) der *Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien* sind erfüllt, wenn die Punkte 1 und 2 erbracht sind.

Das Abschlusszeugnis beinhaltet

- (a) die Prüfungsfächer mit ihrem jeweiligen Umfang in ECTS-Punkten und ihren Noten,
- (b) das Thema und die Note der Diplomarbeit,

- (c) die Note der kommissionellen Abschlussprüfung,
- (d) die Gesamtbeurteilung basierend auf den in (a) angeführten Noten gemäß UG § 73 (3) in der Fassung vom 26. Juni 2017 sowie die Gesamtnote.

Die Note des Prüfungsfaches „Diplomarbeit“ ergibt sich aus der Note der Diplomarbeit. Die Note jedes anderen Prüfungsfaches ergibt sich durch Mittelung der Noten jener Lehrveranstaltungen, die dem Prüfungsfach über die darin enthaltenen Module zuzuordnen sind, wobei die Noten mit dem ECTS-Umfang der Lehrveranstaltungen gewichtet werden. Bei einem Nachkommateil kleiner gleich 0,5 wird abgerundet, andernfalls wird aufgerundet. Die Gesamtnote ergibt sich analog den Prüfungsfachnoten durch gewichtete Mittelung der Noten aller dem Studium zuzuordnenden Lehrveranstaltungen sowie der Noten der Diplomarbeit und der kommissionellen Abschlussprüfung.

Lehrveranstaltungen des Typs VO (Vorlesung) werden aufgrund einer abschließenden mündlichen und/oder schriftlichen Prüfung beurteilt. Alle anderen Lehrveranstaltungen besitzen immanenten Prüfungscharakter, d.h., die Beurteilung erfolgt laufend durch eine begleitende Erfolgskontrolle sowie optional durch eine zusätzliche abschließende Teilprüfung.

Zusätzlich können zur Erhöhung der Studierbarkeit Gesamtprüfungen zu Lehrveranstaltungen mit immanentem Prüfungscharakter angeboten werden, wobei diese wie ein Prüfungstermin für eine Vorlesung abgehalten werden müssen und § 16 (6) des *Studienrechtlichen Teils der Satzung der Technischen Universität Wien* hier nicht anwendbar ist.

Der positive Erfolg von Prüfungen und wissenschaftlichen sowie künstlerischen Arbeiten ist mit „sehr gut“ (1), „gut“ (2), „befriedigend“ (3) oder „genügend“ (4), der negative Erfolg ist mit „nicht genügend“ (5) zu beurteilen.

## 8. Studierbarkeit und Mobilität

Studierende des Masterstudiums *Technische Informatik* sollen ihr Studium mit angemessenem Aufwand in der dafür vorgesehenen Zeit abschließen können.

Den Studierenden wird empfohlen, ihr Studium nach dem Semestervorschlag in Anhang C zu absolvieren. Studierenden, die ihr Studium im Sommersemester beginnen, wird empfohlen, ihr Studium nach der Semesterempfehlung in Anhang D zu absolvieren.

Die Anerkennung von im Ausland absolvierten Studienleistungen erfolgt durch das zuständige studienrechtliche Organ. Zur Erleichterung der Mobilität stehen die in § 27 Abs. 1 bis 3 der *Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien* angeführten Möglichkeiten zur Verfügung. Diese Bestimmungen können in Einzelfällen auch zur Verbesserung der Studierbarkeit eingesetzt werden.

Lehrveranstaltungen, für die ressourcenbedingte Teilnahmebeschränkungen gelten, sind in der Beschreibung des jeweiligen Moduls entsprechend gekennzeichnet; außerdem wird dort die Anzahl der verfügbaren Plätze und das Verfahren zur Vergabe dieser

Plätze festgelegt. Die Leiter\_innen von Lehrveranstaltungen sind berechtigt, für ihre Lehrveranstaltungen Ausnahmen von der Teilnahmebeschränkung zuzulassen.

## 9. Diplomarbeit

Die Diplomarbeit ist eine wissenschaftliche Arbeit, die dem Nachweis der Befähigung dient, ein wissenschaftliches Thema selbstständig inhaltlich und methodisch vertretbar zu bearbeiten. Das Thema der Diplomarbeit ist von der oder dem Studierenden frei wählbar und muss im Einklang mit dem Qualifikationsprofil stehen.

Das Prüfungsfach *Diplomarbeit* umfasst 30 ECTS-Punkte und besteht aus der wissenschaftlichen Arbeit (Diplomarbeit), die mit 27 ECTS-Punkten bewertet wird, aus der kommissionellen Abschlussprüfung im Ausmaß von 1,5 ECTS-Punkten und einem „Seminar für Diplomand\_innen“ im Ausmaß von 1,5 ECTS-Punkten.

## 10. Akademischer Grad

Den Absolvent\_innen des Masterstudiums *Technische Informatik* wird der akademische Grad „Diplom-Ingenieur“/„Diplom-Ingenieurin“ – abgekürzt „Dipl.-Ing.“ oder „DI“ (international vergleichbar mit „Master of Science“) – verliehen.

## 11. Qualitätsmanagement

Das Qualitätsmanagement des Masterstudiums *Technische Informatik* gewährleistet, dass das Studium in Bezug auf die studienbezogenen Qualitätsziele der TU Wien konsistent konzipiert ist und effizient und effektiv abgewickelt sowie regelmäßig überprüft wird. Das Qualitätsmanagement des Studiums erfolgt entsprechend des Plan-Do-Check-Act Modells nach standardisierten Prozessen und ist zielgruppenorientiert gestaltet. Die Zielgruppen des Qualitätsmanagements sind universitätsintern die Studierenden und die Lehrenden sowie extern die Gesellschaft, die Wirtschaft und die Verwaltung, einschließlich des Arbeitsmarktes für die Studienabgänger\_innen.

In Anbetracht der definierten Zielgruppen werden sechs Ziele für die Qualität der Studien an der Technischen Universität Wien festgelegt: (1) In Hinblick auf die Qualität und Aktualität des Studienplans ist die Relevanz des Qualifikationsprofils für die Gesellschaft und den Arbeitsmarkt gewährleistet. In Hinblick auf die Qualität der inhaltlichen Umsetzung des Studienplans sind (2) die Lernergebnisse in den Modulen des Studienplans geeignet gestaltet um das Qualifikationsprofil umzusetzen, (3) die Lernaktivitäten und -methoden geeignet gewählt, um die Lernergebnisse zu erreichen, und (4) die Leistungsnachweise geeignet, um die Erreichung der Lernergebnisse zu überprüfen. (5) In Hinblick auf die Studierbarkeit der Studienpläne sind die Rahmenbedingungen gegeben, um diese zu gewährleisten. (6) In Hinblick auf die Lehrbarkeit verfügt das Lehrpersonal über fachliche und zeitliche Ressourcen um qualitätsvolle Lehre zu gewährleisten.

Um die Qualität der Studien zu gewährleisten, werden der Fortschritt bei Planung, Entwicklung und Sicherung aller sechs Qualitätsziele getrennt erhoben und publiziert. Die Qualitätssicherung überprüft die Erreichung der sechs Qualitätsziele. Zur Messung des ersten und zweiten Qualitätszieles wird von der Studienkommission zumindest einmal pro Funktionsperiode eine Überprüfung des Qualifikationsprofils und der Modulbeschreibungen vorgenommen. Zur Überprüfung der Qualitätsziele zwei bis fünf liefert die laufende Bewertung durch Studierende, ebenso wie individuelle Rückmeldungen zum Studienbetrieb an das Studienrechtliche Organ, laufend ein Gesamtbild über die Abwicklung des Studienplans. Die laufende Überprüfung dient auch der Identifikation kritischer Lehrveranstaltungen, für welche in Abstimmung zwischen studienrechtlichem Organ, Studienkommission und Lehrveranstaltungsleiter\_innen geeignete Anpassungsmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden. Das sechste Qualitätsziel wird durch qualitätssichernde Instrumente im Personalbereich abgedeckt. Zusätzlich zur internen Qualitätssicherung wird alle sieben Jahre eine externe Evaluierung der Studien vorgenommen.

Die für die Abwicklung des Studiums zur Verfügung stehenden Labors und Ressourcen sind für eine maximale Anzahl von 45 Studienanfänger\_innen pro Studienjahr ausgelegt, mit einem erwarteten Drop-Out von 33%.

Die angebotenen Wahlpflicht-Module erlauben die Vertiefung und/oder Verbreiterung in einem für die Technische Informatik relevanten Gebiet. Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgenden Kriterien genügen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechen Pflichtlehrveranstaltungen.
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen.
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise.
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*.
- Inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahlllehrveranstaltungen.

Darüber hinaus müssen vertiefende Lehrveranstaltungen spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelor-Abschlussniveau voraussetzen, während verbreiternde Lehrveranstaltungen Pflicht- oder Wahlpflichtlehrveranstaltung in einem regulären Masterstudium der Technischen Universität Wien sein müssen.

Jedes Modul besitzt eine\_n Modulverantwortliche\_n. Diese Person ist für die inhaltliche Kohärenz und die Qualität der dem Modul zugeordneten Lehrveranstaltungen verantwortlich. Diese wird insbesondere durch zyklische Kontrollen, inhaltliche Feinabstimmung mit vorausgehenden und nachfolgenden Modulen sowie durch Vergleich mit analogen Lehrveranstaltungen bzw. Modulen anderer Universitäten im In- und Ausland sichergestellt.

## **Lehrveranstaltungskapazitäten**

Für die verschiedenen Typen von Lehrveranstaltungen (siehe Anhang B) dienen die folgenden Gruppengrößen als Richtwert:

Lehrveranstaltungstyp	Gruppengröße	
	je Leiter(in)	je Tutor(in)
VO	100	
UE mit Tutor(inn)en	30	15
UE	15	
LU mit Tutor(inn)en	20	8
LU	8	
EX, PR, SE	10	

Für Lehrveranstaltungen des Typs VU werden für den Vorlesungs- bzw. Übungsteil die Gruppengrößen für VO bzw. UE herangezogen. Die Beauftragung der Lehrenden erfolgt entsprechend der tatsächlichen Abhaltung.

Lehrveranstaltungen mit ressourcenbedingten Teilnahmebeschränkungen sind in der Beschreibung des jeweiligen Moduls entsprechend gekennzeichnet; weiters sind dort die Anzahl der verfügbaren Plätze und das Verfahren zur Vergabe dieser Plätze festgelegt. Die Lehrveranstaltungsleiterinnen und Lehrveranstaltungsleiter sind berechtigt, mehr Teilnehmerinnen und Teilnehmer zu einer Lehrveranstaltung zuzulassen als nach Teilnahmebeschränkungen oder Gruppengrößen vorgesehen, sofern dadurch die Qualität der Lehre nicht beeinträchtigt wird.

Kommt es in einer Lehrveranstaltung ohne explizit geregelte Platzvergabe zu einem unvorhergesehenen Andrang, kann die Lehrveranstaltungsleitung in Absprache mit dem studienrechtlichen Organ Teilnahmebeschränkungen vornehmen und die Vergabe der Plätze nach folgenden Kriterien (mit absteigender Priorität) regeln.

- Es werden jene Studierenden bevorzugt aufgenommen, die die formalen und inhaltlichen Voraussetzungen erfüllen. Die inhaltlichen Voraussetzungen können etwa an Hand von bereits abgelegten Prüfungen oder durch einen Eingangstest überprüft werden.
- Unter diesen hat die Verwendung der Lehrveranstaltung als Pflichtfach Vorrang vor der Verwendung als Wahlfach und diese vor der Verwendung als Freifach.
- Innerhalb dieser drei Gruppen sind jeweils jene Studierenden zu bevorzugen, die trotz Vorliegens aller Voraussetzungen bereits in einem früheren Abhaltesemester abgewiesen wurden.

Die Studierenden sind darüber ehebaldigst zu informieren.

## 12. Inkrafttreten

Dieser Studienplan tritt mit 1. Oktober 2019 in Kraft.

## 13. Übergangsbestimmungen

Die Übergangsbestimmungen werden gesondert im Mitteilungsblatt verlautbart und liegen im Dekanat der Fakultät für Informatik auf.



## A. Modulbeschreibungen

Die den Modulen zugeordneten Lehrveranstaltungen werden in folgender Form angeführt:

9,9/9,9 XX Titel der Lehrveranstaltung

Dabei bezeichnet die erste Zahl den Umfang der Lehrveranstaltung in ECTS-Punkten und die zweite ihren Umfang in Semesterstunden. ECTS-Punkte sind ein Maß für den Arbeitsaufwand der Studierenden, wobei ein Studienjahr 60 ECTS-Punkte umfasst und ein ECTS-Punkt 25 Stunden zu je 60 Minuten entspricht. Semesterstunden sind ein Maß für die Beauftragung der Lehrenden. Bei Vorlesungen entspricht eine Semesterstunde einer Vorlesungseinheit von 45 Minuten je Semesterwoche. Der Typ der Lehrveranstaltung (XX) ist in Anhang B im Detail erläutert.

### Advanced Digital Design and Computer Architecture

**Regelarbeitsaufwand:** 9 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Absolvent\_innen dieses Moduls sind in der Lage

- die Notwendigkeit für ein Timing-Modell in jeglicher hinlänglich komplexen digitalen Schaltung zu begründen,
- die Unvermeidbarkeit von Metastabilität unter bestimmten Randbedingungen zu erläutern, alle Manifestationen von Metastabilität zu nennen, und die Methoden zur Transformation zwischen denselben anzuwenden,
- die dem asynchronen Design zugrunde liegenden theoretischen Konzepte, wie etwa das Indication-Principle, Completion Detection, delay-insensitive Codierung, 2- und 4-Phasen-Handshake etc. für einen systematischen Entwurfsprozess anzuwenden,
- die bekannten Timing-Modelle (synchron, bounded-delay, quasi-delay-insensitive) hinsichtlich ihrer Stärken, Schwächen und Grenzen zu vergleichen, sowie für ein gegebenes Problem das jeweils passende zu wählen und anzuwenden,
- eine Kombination dieser Konzepte (wie z.B. GALS) zur Erfüllung von Anforderungen der Anwendung einzusetzen,
- Konzept, Vorteile und Grenzen des Pausible Clocking zu erklären,
- die Funktion der grundlegenden spezifischen Bausteine asynchroner Designs (Muller C-Element, Mutex, Arbiter) zu erklären und diese korrekt anzuwenden,
- das Design superskalarer Prozessoren mit tiefer Pipeline, Pipeline Hazards in fortgeschrittenen Mikroprozessoren, sowie Speicherelemente in Speicherhierarchien zu beschreiben und eingehend zu analysieren, und homogene/heterogene Rechen- und Speicherkomponenten geeignet zu kombinieren.
- die Prinzipien zu Ermöglichung von Parallelismus auf verschiedenen Ebenen der Granularität zu erklären,

- die Unterschiede und Synergien zwischen verschiedenen Entwurfsprinzipien für Rechnerarchitekturen und Komponentendesign für eingebettete, Desktop- und Server-class-Mikroprozessoren zu verstehen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Absolvent\_innen dieses Moduls sind in der Lage

- herausfordernde Probleme (Timing) des digitalen Designs zu meistern (insbesondere Clock Domain Crossing),
- Metastabilitätsprobleme durch sachgerechte Anwendung der entsprechenden Methoden korrekt handzuhaben,
- das Restrisiko für metastabile Upsets in ihrer Synchronizerlösung zu berechnen,
- das gängige Modell für die Abschätzung der Mean Time Between Upsets herzuleiten und die dabei getroffenen Vereinfachungen aufzuzählen,
- die für eine solche Abschätzung benötigten Parameter zu nennen sowie die bauteilspezifischen davon durch Messung zu bestimmen,
- in einem gegebenen Design systematisch alle Glitches zu identifizieren und soweit möglich zu beseitigen,
- asynchrone Pipelines hinsichtlich ihres Zustands und ihrer Funktion zu analysieren,
- fortgeschrittene Rechnerarchitekturen, von Funktionsblöcken bis hin zu ganzen Systemen, effizient und systematisch zu entwerfen, inklusive superskalarer und VLIW-Prozessoren, Multi-Core und Many-Core, heterogener Architekturen, fortschrittlicher Speicherhierarchien, sowie on-Chip Verbindungsnetzwerken.
- einfache Performance-Modelle für high-End Mikroprozessoren herleiten, deren Performance abzuschätzen und zu optimieren,
- Mikroprozessoren für verschiedene Anwendungsbereiche zu bewerten und auszuwählen sowie Designalternativen bezüglich Performance und Energieeffizienz zu analysieren,
- bestehende Lösungen in qualifizierter und strukturierter Weise zu hinterfragen und über Alternativen zu argumentieren.

### **Inhalt:**

- Grundkonzept und Grenzen des synchronen Design
- Metastabilität: Ursachen und Wirkung, Modellierung, Abschätzung und Messung der MTBU
- Entwurf und Realisierung von Synchronizern für verschiedene Randbedingungen
- GALS-Systeme (timing domain crossing, pausable clocking)
- Aufbau, Funktion und Grenzen der Grundbausteine des asynchronen Design: Muller C-Element und Mutual Exclusion Element
- asynchrone Entwurfsmethoden (bundled data, delay insensitive), Handshake-Prinzipien (2-Phasen/4-Phasen) und Timingmodelle (bounded delay, delay insensitive, ...)
- fundamentale Beschreibungsmethoden für asynchrone Schaltungen
- Vergleich zwischen synchroner und asynchroner Logik

- Grundkonzepte von ISA, Micro-Architektur, und verschiedene Ebenen der Parallelität (Instruktionen, Daten und Thread)
- fortgeschrittene Konzepte des Deep Learning, von Data- und Control-Hazards, Branch-Handling und -Prediction, Precision Exception etc.
- Out-of-Order Execution, SIMD/Vector/Array Processing, superscalare vs. VLIW Prozessoren
- Performance-Analyse und Optimierungsmethoden
- Instruction scheduling in superskalaren Prozessoren
- Fortgeschrittene Speicherhierarchien (high-performance Caches, Cache Coherences, emerging Memory Technologies, etc.)
- Multi-Core and Chip-Multiprozessoren
- Heterogene Architekturen
- On-Chip Interconnect Networks

### **Erwartete Vorkenntnisse:**

#### *Fachliche und methodische Kompetenzen:*

- intime Kenntnisse im Entwurf digitaler Logik, ihrer elementaren logischen Funktionsblöcke (kombinatorisch sowie sequenziell), Computerorganisation,
- intime Kenntnis des synchronen Design-Paradigmas

#### *Kognitive und praktische Kompetenzen:*

- Fertigkeit zur Handhabung des vollständigen Entwurfsprozesses eines FPGA von der Schaltungseingabe in VHDL bis zum Download, inklusive Simulation und systematischer Fehlersuche,
- Fähigkeit zum Entwurf eines synchronen Designs,
- Fähigkeit für eine gegebene Problemstellung ein Petrinetz zu zeichnen und anzupassen

Diese Voraussetzungen werden in folgenden Modulen vermittelt: Digital Design

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Das Modul besteht aus zwei Lehrveranstaltungen, die beide jeweils einen Vorlesungsteil mit einem Übungsteil kombinieren, um sowohl theoretische als auch praktische Kompetenzen zu vermitteln. Die Vorlesungen umfassen Vorträge durch den Lehrveranstaltungsleiter sowie Diskussionen mit den Studierenden über ausgewählte Themen. Die Übungen umfassen Hausaufgaben, deren Lösungen nach der Abgabe dann in der Gruppe diskutiert werden. Die Benotung richtet sich nach der Qualität/Korrektheit der Abgaben, dem Engagement in Diskussionen, sowie nach dem Abschneiden bei einer Abschlussprüfung.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:** Das Modul umfasst die folgenden Lehrveranstaltungen:

4,5/3,0 VU Advanced Digital Design

4,5/3,0 VU Advanced Computer Architecture

# Advanced Multiprocessor Programming

**Regelarbeitsaufwand:** 4,5 ECTS

## Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Das Modul vermittelt folgende Grundkenntnisse:

- Grundlegende Synchronisierungs- und Koordinationsprobleme für Multiprozessoren mit gemeinsamem Speicher, fundamentale Einschränkungen und Schranken.
- Grundlagen der Speichermodelle in Hardware und Software.
- Grundideen und -begriffe für Datenstrukturen und Algorithmen mit und ohne Locks, Fortschritt unter Nebenläufigkeit.
- Grundlagen für “Work-stealing schedulers”.

Vertrautheit mit wichtigen

- lock-freien Datenstrukturen (Listen, Stacks, Queues, Sets, ...),
- lock-freien Algorithmen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Das Modul vermittelt Fertigkeiten im

- Entwurf und Fortschrittsanalyse von nebenläufigen Datenstrukturen und Algorithmen für neue Probleme, sowie
- Implementierung von parallelen Datenstrukturen und Algorithmen mit den vermittelten Arbeitswerkzeugen.

**Inhalt:** Synchronisationsprobleme, -operationen, und -primitiven, atomare Operationen, Konsens, Universalität und Unmöglichkeit, Locks, Datenstrukturen ohne Locks (Listen, Stacks, Sets, Queues, Hashtabellen, Suchstrukturen, ...), Speichermodelle, “Work-stealing”, transaktionale Speicher. Praktisches Implementierungsprojekt in C++.

## Erwartete Vorkenntnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundwissen der Ziele des parallelen Rechnens, paralleler Rechnerarchitekturen, Algorithmen und Datenstrukturen, Programmiermodelle und -sprachen, sowie deren Motivation.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Grundfertigkeiten der Programmierung in C/C++ oder Java, auch mit Hilfe von Threads.

Folgende Modulen vermitteln ausreichende Grundfertigkeiten und -Kenntnisse: Algorithmen und Datenstrukturen, Betriebssysteme, Einführung in paralleles Rechnen (Parallel Computing)

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Der Vorlesungsteil, gestützt durch Hausaufgaben und Tafelübungen, vermittelt theoretische Grundlagen, und vermittelt wichtige Datenstrukturen, Algorithmen und Methoden. Er

wird begleitet von praktischen Programmierprojekten, in welchen Datenstrukturen und Algorithmen aus der Vorlesung erweitert und implementiert werden sollen. Die Endnote setzt sich aus der aktive Teilnahme in Vorlesung und Übungen, Aufgabenlösungen, dem Projekt und einer abschliessenden mündlichen Prüfung auf der Grundlage des Projektberichts zusammen.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

4,5/3,0 VU Advanced Multiprocessor Programming

## **Computer-Aided Verification**

**Regelarbeitsaufwand:** 6 ECTS

### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach dem erfolgreichen Abschluß der Lehrveranstaltung sind die Studierenden mit modernen und aktuellen automatischen Verifikationsalgorithmen und temporalen Spezifikationssprachen vertraut und haben ein tiefes Verständnis der zugrundeliegenden Ziele und Herausforderungen. Ein besonderes Augenmerk wird auf Algorithmen zur Berechnung von induktiven Programminvarianten gelegt. Die Studierenden können die vermittelten Algorithmen im Detail erläutern und die die erlernten Konzepte verbinden.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach dem erfolgreichen Abschluß der Lehrveranstaltung verstehen die Studierenden die Stärken und Grenzen von modernen automatischen Verifikationsmethoden, können deren Einsetzbarkeit für realistische Probleme ab- und einschätzen, und die den Werkzeugen zugrundeliegenden Algorithmen und Techniken erklären. Erfolgreiche Absolvent\_innen der Vorlesung sind in der Lage, weiterführende Literatur zu verstehen. Weiters können die Studierenden die vorgestellten Werkzeuge in der Praxis einsetzen und Probleme und Programme so modellieren, dass diese von Model Checkern verifiziert werden können.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Studierende, die die Vorlesung erfolgreich belegen, verstehen die Notwendigkeit von automatischer Verifikation und sind sich der großen Verantwortung bewusst, die Entwickler von sicherheitskritischen Systemen tragen.

### **Inhalt:**

- Beispiele und Konsequenzen von Fehlern in sicherheitskritischen Systemen
- Möglichkeiten, Herausforderungen, und Grenzen automatischer Verifikationswerkzeuge
- Grundlegende Model-Checking-Ansätze
- Temporale Spezifikationssprachen
- Symbolische Model-Checking-Methoden
- Berechnung von induktiven Invarianten mittels moderner Algorithmen
- Model-Checking Werkzeuge und deren Anwendung
- Implementierung von Model Checkern

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Für den erfolgreichen Besuch der Lehrveranstaltung ist ein rudimentäres Verständnis von formalen Sprachen, insbesondere Aussagenlogik und Prädikatenlogik, notwendig.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Grundlegende Fertigkeiten der Implementierung von Algorithmen und Vertrautheit mit einfachen Ableitungen in logischen Kalkülen werden vorausgesetzt.

Diese Voraussetzungen werden in folgenden Modulen vermittelt: Einführung in die Programmierung, Algorithmen und Datenstrukturen, Theoretische Informatik und Logik, Formal Methods in Computer Science

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesung (VU) wird durch regelmäßige Übungsblätter begleitet, die das Verständnis der vermittelten Methoden vertiefen sollen. Die Endnote setzt sich aus der Bewertung der Übungsabgaben und einer schriftlichen Prüfung zusammen. Die Übung erlaubt den Studenten, ihr Wissen an der Implementierung eines eigenen Verifikationstools zu erproben; die Implementierung wird in einem Abgabegespräch besprochen und bewertet.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VU Computer-Aided Verification

3,0/2,0 UE Computer-Aided Verification

**Discrete Mathematics**

**Regelarbeitsaufwand:** 9 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Reproduzieren bzw. Herleiten der wichtigsten Konzepte der Diskreten Mathematik und seinen Anwendungen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Mathematische Modellierung von Problemstellungen von diskreten Strukturen (wie Netzwerken, Datenstrukturen, Algorithmen) durch entsprechende kombinatorische, graphentheoretische bzw. algebraische Konzepte und Anwendung von mathematischen Methoden zur Lösung solcher Problemstellungen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Präsentieren von Problemlösungen vor einer Übungsgruppe.

**Inhalt:** Höhere Kombinatorik:

- Abzählprinzipien (Mengen, Permutationen, Partitionen, Schubfachschluss, Double Counting, Ramsey-Theory),
- Erzeugende Funktionen (geordnete und ungeordnete kombinatorische Strukturen, Rekursionen, asymptotische Methoden),

- Kombinatorik auf Halbordnungen (Satz von Dilworth, Möbius-Inversion, Verbände)

Graphentheorie:

- Grundlagen
- Bäume und Wälder (spannende Teilgraphen, Matroide und Greedy-Algorithmen),
- Gewichtete Graphen und Algorithmen (Dijkstra, Floyd-Warshall, Ford-Fulkerson),
- Spezielle Graphenklassen (Eulersche, Hamiltonsche, planare, bipartite, Matchings, Färbungen)

Zahlentheorie:

- Teilbarkeit und eindeutige Primfaktorenzerlegung (Euklidischer Algorithmus), Chinesischer Restsatz, RSA-Algorithmus
- Polynome über endlichen Körpern (faktorielle Ringe, euklidische Ringe), Körper (Primkörper, Körpercharakteristik, Polynomringe, Minimalpolynom, primitive Polynome),
- Anwendungen (Polynomcodes, Shift-Register-Folgen)

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Mathematisches Grundwissen aus Bachelor-Lehrveranstaltungen in Algebra und Diskrete Mathematik sowie Analysis.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Mathematische Grundfertigkeiten (Beweistechniken, mathematische Modellierung) aus Bachelor-Lehrveranstaltungen in Algebra und Diskrete Mathematik sowie Analysis.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Fähigkeit zur Präsentation von Übungsbeispielen.

Diese Voraussetzungen werden in folgenden Modulen vermittelt: Algebra und Diskrete Mathematik, Analysis

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:**

Zweimal wöchentliche Vorlesung mit kontinuierlich begleitenden Übungen (individuell auszuarbeitende Übungsbeispiele, Lösungspräsentation an der Tafel), wodurch die in der Vorlesung vermittelten Inhalte effizient erlernt und die mathematische Problemlösungskompetenz trainiert wird. Leistungsfeststellung durch mehrere Lösungspräsentationen im Übungsteil, sowie einer schriftlichen und mündlichen Abschlussprüfung.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

4,0/4,0 VO Discrete Mathematics

5,0/2,5 UE Discrete Mathematics

## Freie Wahlfächer und Transferable Skills

**Regelarbeitsaufwand:** 9,0 ECTS

**Lernergebnisse:** Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls dienen der Vertiefung des Faches sowie der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen.

**Inhalt:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:** Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls können frei aus dem Angebot an wissenschaftlichen und künstlerischen Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung des Faches oder der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen dienen, aller anerkannten in- und ausländischen postsekundären Bildungseinrichtungen ausgewählt werden, mit der Einschränkung, dass zumindest 4,5 ECTS aus den Themenbereichen der Transferable Skills zu wählen sind. Für die Themenbereiche der Transferable Skills werden insbesondere Lehrveranstaltungen aus dem Wahlfachkatalog „Transferable Skills“ der Fakultät für Informatik (Anhang F) und aus dem zentralen Wahlfachkatalog der TU Wien für „Transferable Skills“ empfohlen.

## Formal Methods in Computer Science

**Regelarbeitsaufwand:** 9.0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls besitzen Studierende ein erweitertes Wissen der Berechenbarkeitstheorie, von Entscheidungsverfahren, der Semantik von Programmiersprachen sowie der formalen Verifikation.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden obige Konzepte in theoretischer und praktischer Arbeit anwenden, sowie für Speziallehrveranstaltungen verwenden.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden mathematische Konzepte als Werkzeuge für praktische Anwendungen einsetzen.

**Inhalt:** In diesem Modul werden folgende Themen diskutiert:

- Komplexität und Berechenbarkeit,
- logikbasierte Entscheidungsverfahren,
- Semantik von Programmiersprachen und
- formale Verifikation.



### **Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Kenntnisse der elementaren Konzepte der theoretischen Informatik, Logik, diskreten Mathematik, Programmierung und Algorithmen, wie es in den entsprechenden Bachelorlehrveranstaltungen behandelt wird.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Studierende sollten Kenntnisse der Programmierung und mathematische Fertigkeiten besitzen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Präsentationsfähigkeiten zum Vorrechnen von selbständig erarbeiteten Übungsaufgaben.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung welche einen Vorlesungs- und einen Übungsteil besitzt, ergänzt um einen vertiefenden weiteren Übungsteil. Die Übungen bestehen aus schriftlichen zuhause zu lösenden Aufgaben die individuell bewertet werden. Die Gesamtbeurteilung erfolgt auf Basis der Ergebnisse der Übungen und einer schriftlichen Abschlussprüfung.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

6,0/4,0 VU Formal Methods in Computer Science

3,0/2,0 UE Formal Methods in Computer Science

## **Information Technology in Automation**

**Regelarbeitsaufwand:** 6 ECTS

### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:*

- Aufbau und Organisation verteilter Automatisierungssysteme
- Vertiefung zu Kommunikationsprotokollen in der Automatisierung
- Aktuelle Entwicklungen im Bereich Industrial Internet of Things
- Informationsmodelle als Grundlage einer Integration heterogener Systeme
- Maschine-zu-Maschine Kommunikation und Auto-management

*Kognitive und praktische Kompetenzen:*

- Ableiten von Anforderungen an Automatisierungs- und Kommunikationssysteme
- Kritische Beurteilung und Auswahl geeigneter Architekturen, Protokolle und Komponenten gemäß spezifischer Anforderungen
- Konzeption von Systemarchitekturen
- Entwurf von Ansätzen zur Integration heterogener Systeme über vereinheitlichte Schnittstellen
- Entwicklung und Proof-of-Concept-Implementierung von Automatisierungssystemen
- Bewertung des Sicherheits- und Fehlerverhaltens durch formale Methoden und/oder Simulation

### *Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:*

- Analytisches Denken (z.B. Analyse von Prozessen zur Ableitung passender Systemarchitekturen)
- Abstraktes Denken (z.B. Prozess- und Datenmodelle, Integration heterogener Systeme)
- Strukturiertes Denken, Problemlösungskompetenz (Entwicklung und Evaluation von Proof-of-Concept-Systemen)
- Eigeninitiative, erweiterte Lesekompetenz (formal/mathematisch, englisch): Erarbeiten und Bewerten einschlägiger Fachliteratur
- Selbstorganisation, Eigenverantwortlichkeit (Einzelprojekte)
- Kommunikations- und Teamfähigkeit (Bearbeitung praktischer Aufgabenstellungen im Team)

**Inhalt:** Eine der wichtigsten Herausforderungen für den Anschluss von industrieller Automatisierungstechnik an das Internet of Things kommt aus der inhärenten Komplexität der zugrundeliegenden Automatisierungssysteme. Inhalt des Moduls ist die Wissensvermittlung zur Verknüpfung und zur Zusammenführung verschiedener Technologiebereiche (u.a. Embedded Systems und Cloud Computing) über einheitliche (Internet-basierende) Schnittstellen. Im Rahmen des Moduls werden unterschiedliche Herangehensweisen zur Informations- und Applikationsmodellierung im industriellen Umfeld diskutiert und Herausforderungen für die Umsetzung des Industrial Internet of Things (IIoT) identifiziert. Im begleitenden Übungsteil werden Proof-of-Concepts erstellt, durch Laborprotokolle dokumentiert und in Abgabegesprächen erläutert.

### **Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Basiskenntnisse im Bereich verteilter Automatisierungssysteme, industrieller Kommunikationssysteme und Netzwerkprotokolle

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Fähigkeit zur Konstruktion von Programmen (auch für eingebettete Systeme); Argumentieren von gewählten Lösungswegen durch Laborprotokolle

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Konzepte vergleichen und evaluieren; selbstständiges Erschließen wissenschaftlicher Begleitliteratur; Aufarbeiten von notwendigen Datenblättern und Manuals

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Inhalte werden in Vorträgen vorgestellt und in begleitenden Übungen von Studierenden vertieft.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

6,0/4,0 VU Information Technology in Automation

# Signal Processing

**Regelarbeitsaufwand:** 9 ECTS

## Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Kenntnisse und wesentliche Eigenschaften von linearen Operatoren im Hilbertraum, Unterraumtechniken sowie deren Anwendung in der Verarbeitung deterministischer Signale in Nachrichtentechnik und Elektrotechnik; Kenntnis der Theorie, mathematischen Beschreibung und grundlegenden Verarbeitung von Zufallsvariablen, Zufallsvektoren und Zufallssignalen (Zufallsprozessen); Modellierung mit Hilfe stochastischer Größen, quadratische Optimierungs- und Prädiktionsprobleme.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Mathematische Formulierung von typischen Problemen der Signalverarbeitung sowie Beherrschung der zugehörigen Lösungsansätze. Passives Beherrschen von formalen Beweisen. Anwendung klassischer Verfahren der Signalverarbeitung auf praxisrelevante Fragestellungen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamarbeit und Reflexion in Kleingruppen.

**Inhalt:** Deterministische Signalverarbeitung:

- Grundlagen, Modellierung linearer Systemen, Zustandsraumbeschreibung, Abtasttheorem.
- Vektorräume und lineare Algebra, Basis und Dimension, Normen und Inprodukte, Orthogonalität, Hilbert- and Banachräume.
- Approximationsproblem im Hilbertraum, Orthogonalitätsprinzip, Gradientenverfahren, Least-Squares-Filterung, Signaltransformation und verallgemeinerte Fourierreihen, Wavelets.
- Lineare Operatoren, Orthogonale Unterräume, Projektionen.
- Kronecker-Produkt, DFT, FFT, Hadamard-Transformation.

Stochastische Signalverarbeitung:

- Diskrete und kontinuierliche Zufallsvariable, kumulative Verteilungsfunktion, Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion,
- Transformation von Zufallsvariablen, bedingte Verteilungen, Erwartungswerte und Momente, Charakteristische Funktion, Korrelation und Kovarianz, statistische Unabhängigkeit, Orthogonalität und Unkorreliertheit.
- Karhunen-Loeve-Zerlegung, Dekorrelation, Innovationsdarstellung, MMSE-Schätzung (Wiener Filter),
- Zufallsprozesse, Stationarität, Mittelwert, Autocorrelationsfunktion, Zyklostatiorität, Leistungsdichtespektrum, Effekt linearer Systeme, Wold-Zerlegung, Markoffketten, ARMA-Prozesse, lineare Prädiktion.

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Bachelor-level Kenntnisse in linearer Algebra, Funktionalanalysis und Wahrscheinlichkeitsrechnung sowie über kontinuierliche und diskrete Signale und Systeme; Grundlagenkenntnisse der Nachrichtentechnik.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Mathematische Lösungskompetenz, beispielsweise für Eigenwertaufgaben, Matrizeninversion, Ableiten und Integrieren. Anwendungen von Laplace, Fourier und Z-Transformation.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Englischkenntnisse.

Diese Voraussetzungen werden in folgenden Modulen vermittelt: Algebra und Diskrete Mathematik, Analysis, Analysis 2, Wahrscheinlichkeitstheorie und Stochastische Prozesse, Signale und Systeme

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Dieses Modul ist geprägt durch Basistechniken im Bereich Signalverarbeitung. Dazu werden die wesentlichen Fähigkeiten im Vortrag erläutert. Um diese einzuüben, werden Rechen- und auch einfache Programmieraufgaben von den Studierenden eigenständig gelöst. Die Ergebnisse zu den Aufgabenstellungen werden von den Studierenden unter Anleitung eines Lehrveranstaltungsbetreuers diskutiert. Die Leistungsbeurteilung ergibt sich aus der Leistung bei den Übungen, einem schriftlichen Prüfungsteil, und einer mündlichen Abschlussprüfung.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

4,5/3,0 VU Signal Processing 1

4,5/3,0 VU Signal Processing 2

## **Stochastische Grundlagen von Cyber-Physical Systems**

**Regelarbeitsaufwand:** 6 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Verständnis der stochastischen Grundlagen von Cyber-Physical Systeme, künstliche Intelligenz und Robotik. Bestimmen der Komplexität der verwendeten algorithmischen Techniken. Fähigkeit, stochastische Modelle von CPS zu lernen. Fähigkeit, eine stochastische Analyse von CPS durchzuführen. Fähigkeit, optimale Controller für CPS zu entwerfen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:*

- Entwicklung stochastischer Algorithmen zum automatisierten Lernen von CPS-Modellen.
- Entwicklung von exakten und approximativen Algorithmen für die Analyse von CPS-Modellen.
- Entwicklung stochastischer Algorithmen zur optimalen Steuerung von CPS.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erfassung und Erfahrung in der Anwendung der Theorie zum Lösen wissenschaftlicher und praktischer Probleme.

- Weiterentwicklung formal-mathematischer Problemlösungsfähigkeiten.
- Fähigkeit, wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema zu lesen.

**Inhalt:** Dieses Modul bietet eine fortgeschrittene Einführung in die stochastischen Grundlagen von CPS, begleitet von algorithmischer Analyse, effiziente Lerntechniken und moderne optimale Steuerung.

- Probabilistische Interpretation der Unsicherheit.
- Rationale Agenten als intelligente CPS.
- Statische (sBN) und dynamische Bayes-Netzwerke (dBN).
- Unsichere Umgebungen als BN.
- Genaue und approximierte Inferenz in BN.
- Maschinelles Lernen von sBN und dBN.
- Entscheidungsfindung und optimale Steuerung.
- Supervised und Reinforcement Learning.
- Spracherkennung und Robotik.

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Wahrscheinlichkeitstheorie, stochastische Signale, Regelungstechnik, diskrete Mathematik.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Fähigkeiten in mathematischem Denken und Programmierung.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Fähigkeit zur selbstständigen Arbeit, Interesse an der Verbindung von Theorie und Praxis.

Diese Voraussetzungen werden in den folgenden Modulen bereitgestellt: Wahrscheinlichkeitstheorie und Stochastische Prozesse, Signale und Systeme, Modellbildung und Regelungstechnik, Discrete Mathematics

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Wöchentliche Vorlesung mit kontinuierlicher begleitender Übung (Programmierung und Homework-Assignments), wodurch die in der Vorlesung vermittelten Inhalte effizient erlernt und die individuelle Problemlösungskompetenz in der CPS Modellierung, Analyse und Steuerung trainiert wird. Abgabe von LaTeX-Dokumenten, gegenseitiges Peer-Reviewing der Abgaben, begleitendes Lesen eines Buches.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

6,0/4,0 VU Stochastic Foundations of Cyber-Physical Systems

## Verteilte Algorithmen

**Regelarbeitsaufwand:** 6 ECTS

### Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:*

- Verständnis der Modelle, Probleme, Algorithmen, Lower-Bounds, Impossibility-Resultate und Korrektheitsbeweise im Bereich Distributed Computing.
- Anwendung existierender Lower-Bounds und Impossibility-Resultate in neuen Situationen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:*

- Entwicklung neuer verteilter Algorithmen und entsprechender Korrektheitsbeweise für spezielle Problemstellungen, Finden neuer Lower-Bounds und Impossibility-Resultate.
- Fertigkeiten zur Erstellung von LaTeX-Dokumenten und Peer Reviews.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:*

- Weiterentwicklung der formal-mathematischen Problemlösungskompetenzen.
- Vertrautheit mit dem Lesen einschlägiger wissenschaftlicher Texte.

**Inhalt:** Dieses Modul bietet eine Einführung in verteilte Algorithmen und deren formal-mathematische Analyse. Grundlagen: Execution runs, safety and liveness properties, causality and time; Modelle: Message passing vs. shared memory, synchronous vs. asynchronous, failure models; Algorithmen: Leader election, mutual exclusion, clock synchronization, consensus, distributed snapshots; Beweistechniken: Impossibility proofs, lower bounds, simulation, indistinguishability, bivalence.

### Erwartete Vorkenntnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Diskrete Mathematik; mathematischen Analyse von sequentiellen Algorithmen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Fertigkeiten bei der Erstellung mathematischer Beweise.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Elementare LaTeX-Kenntnisse, Bachelor-level Fertigkeiten Lesen und Schreiben wissenschaftlicher Artikel.

Diese Voraussetzungen werden in folgenden Modulen vermittelt: Algorithmen und Datenstrukturen, Discrete Mathematics

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Wöchentliche Vorlesung mit kontinuierlicher begleitender Übung (mehrere Quizzes und Homework-Assignments), wodurch die in der Vorlesung vermittelten Inhalte effizient

erlernt und die individuelle Problemlösungskompetenz im formal-mathematischen Bereich trainiert wird. Abgabe von LaTeX-Dokumenten, gegenseitiges Peer-Reviewing der Abgaben, begleitendes Lesen eines Buches.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

6,0/4,0 VU Distributed Algorithms

## **Wahlmodul Algorithms and Programming**

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten.

**Inhalt:** Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechend Pflichtlehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Thematische und inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen können vertiefenden oder verbreiternden Charakter haben.
  - Vertiefung: Spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelorabschlussniveau
  - Verbreiterung: Lehrveranstaltungen müssen Pflicht oder Wahlpflicht in einem ordentlichen Master-Studium der Technischen Universität sein.

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

6,0/4,0 VU Algorithmics

3,0/2,0 VU Heuristic Optimization Techniques

3,0/2,0 VU Fixed-Parameter Algorithms and Complexity

3,0/2,0 VU Structural Decomposition and Algorithms

4,5/3,0 VO Analysis of Algorithms

1,5/1,0 UE Analysis of Algorithms

4,5/3,0 VU Semantik von Programmiersprachen

3,0/2,0 VO Codegeneratoren

3,0/2,0 VU Optimierende Übersetzer  
6,0/4,0 VU GPU Architectures and Computing  
6,0/4,0 VU Parallele und Echtzeitprogrammierung  
3,0/2,0 VU Algorithmic Geometry

## **Wahlmodul Automation**

### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten.

### **Inhalt:** Kernthemen:

- Automatisierungssysteme
- Industrial IoT
- Robotik

Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechend Pflichtlehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Thematische und inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen können vertiefenden oder verbreiternden Charakter haben.
  - Vertiefung: Spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelorabschlussniveau
  - Verbreiterung: Lehrveranstaltungen müssen Pflicht oder Wahlpflicht in einem ordentlichen Masterstudium der Technischen Universität sein.

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

6,0/4,0 VU Mechatronische Systeme  
3,0/2,0 LU Labor Mechatronische Systeme  
3,0/2,0 VO Automatisierungs- und Steuerungssysteme  
3,0/2,0 LU Labor Automatisierungs- und Steuerungssysteme  
3,0/2,0 VU Sensoren und optoelektronische Bauelemente



3,0/3,0 VU Wireless in Automation  
4,5/4,5 VU Home and Building Automation  
4,5/3,0 VO Communication Networks 1  
4,5/3,0 VU Communication Networks 2  
3,0/2,0 VU Network Security  
3,0/2,0 VU Network Security - Advanced Topics  
6,0/4,0 VU Internet of Things  
4,5/3,0 VU Mobile Robotik  
6,0/4,0 VU Machine Vision und kognitive Robotik

## **Wahlmodul Computer-Aided Verification**

### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

### **Inhalt:**

- Program analysis,
- Model checking
- Automated reasoning

Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechend Pflichtlehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Vertiefender Charakter (spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelor-Abschlussniveau)

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VU SAT Solving und Erweiterungen  
3,0/2,0 UE Computer-Aided Verification  
3,0/2,0 VU Programmanalyse

6,0/4,0 VU Software Model Checking  
3,0/2,0 VU Protocol Verification  
6,0/4,0 VU Automated Deduction  
3,0/2,0 VU Advanced Topics in Theoretical Computer Science  
6.0/4,0 VU Formal Methods for Security and Privacy

## Wahlmodul Cyber-Physical Systems

### Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten.

### Inhalt: Kernthemen:

- Control theory
- Stochastic and hybrid systems
- Autonomous systems
- Real-time Systems
- Embedded systems

Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechen Pflichtlehrveranstaltungen.
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Universität*
- Inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen können vertiefenden oder verbreiternden Charakter haben:
  - Vertiefung: Spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelor-Abschlussniveau
  - Verbreiterung: Lehrveranstaltungen müssen Pflicht oder Wahlpflicht in einem ordentlichen Masterstudium der Technischen Universität sein.

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

### Lehrveranstaltungen des Moduls:

6,0/4,0 VU Logical Foundations of Cyber-Physical Systems  
3,0/2,0 VU Runtime Verification

3,0/2,0 VO Regelungssysteme 1  
 1,5/1,0 LU Regelungssysteme 1  
 4,5/3,0 VO Regelungssysteme 2  
 4,5/3,0 LU Regelungssysteme 2  
 4,5/3,0 VU Optimierung  
 3,0/2,0 VU Model Predictive Control  
 4,5/3,0 VU Regelung verteilt-parametrische Systeme  
 4,5/3,0 VU Fortgeschrittene Methoden der Modellbildung  
 4,5/3,0 VU Fortgeschrittene Methoden der nichtlinearen Regelung  
 3,0/2,0 VU Zeitanalyse von sicherheitskritischen Echtzeitsystemen  
 3,0/2,0 VU Real-Time Scheduling  
 6,0/4,0 VU Internet of Things  
 4,5/3,0 VU Mobile Robotik  
 6,0/4,0 VU Machine Vision und kognitive Robotik

## Wahlmodul Dependable Distributed Systems

### Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

### Inhalt: Kernthemen:

- Distributed systems
- Dependable systems (fault-tolerance, safety, security)
- Parallel computing
- Computer networks

Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechend Pflichtlehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Vertiefender Charakter (spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelor-Abschlussniveau)

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

- 4,5/3,0 VU Problems in Distributed Computing
- 4,5/4,5 LU Building Reliable Distributed Systems
- 6,0/4,0 VU Verteiltes Programmieren mit Space Based Computing Middleware
- 4,5/3,0 VO Communication Networks 1
- 4,5/3,0 VU Communication Networks 2
- 3,0/2,0 VU Network Security
- 3,0/2,0 VU Network Security - Advanced Topics
- 3,0/2,0 VU Parallele Algorithmen
- 4,5/3,0 VU High Performance Computing Hochleistungsrechnen
- 3,0/2,0 VU Protocol Verification
- 6,0/4,0 VU Parallele und Echtzeitprogrammierung
- 6,0/4,0 VU Formal Methods for Security and Privacy

## **Wahlmodul Digital Circuits and Systems**

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

**Inhalt:** Kernthemen:

- Low power & energy efficient designs
- Processor architectures
- Asynchronous circuits
- HW/SW Codesign

Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechen Pflichtlehrveranstaltungen.
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Vertiefender Charakter (spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelor-Abschlussniveau)

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

- 1,5/1,5 LU Advanced Digital Design
- 1,5/1,5 VU HW/SW Codesign
- 4,5/4,5 LU HW/SW Codesign
- 4,0/3,0 VU Halbleiterphysik
- 3,0/3,0 VU Vertiefung FPGA-Design
- 1,5/1,0 VU SoC Architektur und Design
- 3,0/2,0 VU Application-Specific Computing Architectures and Systems
- 3,0/2,0 VU Embedded Systems in FPGAs
- 3,0/2,0 SE SoC Design Seminar
- 4,5/3,0 UE SoC Design Laboratory

## **Wahlmodul Digital Signal Processing and Communication**

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten des Schlüsselbereichs.

**Inhalt:** Kernthemen:

- Digital signal processing
- Digital communication
- Wireless communication

Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechend Pflichtlehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Vertiefender Charakter (spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelor-Abschlussniveau)

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Individuell nach gewählten Lehrveranstaltungen.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

- 3,0/2,0 VO Quellencodierung
- 4,5/3,0 VU Digital Communications 1
- 4,5/3,0 VU Digital Communications 2
- 4,0/3,0 VU Digitale Signalverarbeitung, Vertiefung
- 7,0/4,0 VU Signalverarbeitung, Vertiefung
- 3,0/2,0 VU Robuste und verlässliche Kommunikationssysteme
- 6,0/4,0 VU Wireless Communications 1
- 3,0/2,0 VO Wireless Communications 2
- 3,0/2,0 LU Lab Wireless Communications
- 3,0/2,0 VU Impulstechnik
- 3,0/2,0 VU Satellitennavigation

## **Wahlmodul Mathematics and Theoretical Computer Science**

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten.

**Inhalt:** Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechen Pflicht-Lehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Thematische und inhaltliche Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen können vertiefenden oder verbreiternden Charakter haben:
  - Vertiefung: Spezifische Vorkenntnisse zumindest auf Bachelor-Abschlussniveau
  - Verbreiterung: Lehrveranstaltungen müssen Pflicht oder Wahlpflicht in einem ordentlichen Master-Studium der Technischen Universität sein.

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VU Komplexitätstheorie  
4,5/3,0 VO Angewandtes Operations Research  
1,5/1,0 UE Angewandtes Operations Research  
3,0/2,0 VU Kryptographie  
6,0/4,0 VO Functional Analysis 1  
2,0/1,0 UE Functional Analysis 1  
4,5/3,0 VO Complex Analysis  
1,5/1,0 UE Complex Analysis  
4,5/3,0 VO Topologie  
1,5/1,0 UE Topologie

## **Wahlmodul Verbreiterung**

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Vertiefte Kenntnisse in den gewählten Teilgebieten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Verbesserte Fertigkeiten in der Anwendung relevanter Methoden und Verfahren in den gewählten Teilgebieten.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Erweiterte Kompetenzen in den gewählten Teilgebieten.

**Inhalt:** Aufgenommene Lehrveranstaltungen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Umfang, Niveau und Aufwand entsprechend Pflichtlehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen ohne Übungsanteil nur in gut begründeten Ausnahmefällen
- Wissenschaftlich oder ingenieurwissenschaftlich solide Herangehensweise
- Thema passend zum Qualifikationsprofil des Masterstudiums *Technische Informatik*
- Thematische Distanz zu existierenden Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen
- Lehrveranstaltungen/Module müssen Pflicht oder Wahlpflicht in einem ordentlichen Master-Studium an der Technischen Universität sein

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

6,0/4,0 VU Knowledge-based Systems  
6,0/4,0 VU Model Engineering  
4,5/3,0 VU Computer Vision

4,5/3,0 VU Mustererkennung  
2,0/2,0 VO Virtual and Augmented Reality  
4,0/3,0 UE Virtual and Augmented Reality  
6,0/1,0 PR Projektarbeit in Technischer Informatik  
6,0/1,0 PR Scientific Project in Technischer Informatik  
3,0/2,0 SE Seminar in Technischer Informatik



## B. Lehrveranstaltungstypen

**EX:** Exkursionen sind Lehrveranstaltungen, die außerhalb des Studienortes stattfinden. Sie dienen der Vertiefung von Lehrinhalten im jeweiligen lokalen Kontext.

**LU:** Laborübungen sind Lehrveranstaltungen, in denen Studierende in Gruppen unter Anleitung von Betreuer\_innen experimentelle Aufgaben lösen, um den Umgang mit Geräten und Materialien sowie die experimentelle Methodik des Faches zu lernen. Die experimentellen Einrichtungen und Arbeitsplätze werden zur Verfügung gestellt.

**PR:** Projekte sind Lehrveranstaltungen, in denen das Verständnis von Teilgebieten eines Faches durch die Lösung von konkreten experimentellen, numerischen, theoretischen oder künstlerischen Aufgaben vertieft und ergänzt wird. Projekte orientieren sich an den praktischberuflichen oder wissenschaftlichen Zielen des Studiums und ergänzen die Berufsvorbildung bzw. wissenschaftliche Ausbildung.

**SE:** Seminare sind Lehrveranstaltungen, bei denen sich Studierende mit einem gestellten Thema oder Projekt auseinandersetzen und dieses mit wissenschaftlichen Methoden bearbeiten, wobei eine Reflexion über die Problemlösung sowie ein wissenschaftlicher Diskurs gefordert werden.

**UE:** Übungen sind Lehrveranstaltungen, in denen die Studierenden das Verständnis des Stoffes der zugehörigen Vorlesung durch Anwendung auf konkrete Aufgaben und durch Diskussion vertiefen. Entsprechende Aufgaben sind durch die Studierenden einzeln oder in Gruppenarbeit unter fachlicher Anleitung und Betreuung durch die Lehrenden (Universitätslehrer\_innen sowie Tutor\_innen) zu lösen. Übungen können auch mit Computerunterstützung durchgeführt werden.

**VO:** Vorlesungen sind Lehrveranstaltungen, in denen die Inhalte und Methoden eines Faches unter besonderer Berücksichtigung seiner spezifischen Fragestellungen, Begriffsbildungen und Lösungsansätze vorgetragen werden. Bei Vorlesungen herrscht keine Anwesenheitspflicht.

**VU:** Vorlesungen mit integrierter Übung vereinen die Charakteristika der Lehrveranstaltungstypen VO und UE in einer einzigen Lehrveranstaltung.

## **C. Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen**

### **1. Semester (WS)**

4,0 VO Discrete Mathematics

5,0 UE Discrete Mathematics

6,0 VU Formal Methods in Computer Science

3,0 UE Formal Methods in Computer Science

### **2. Semester (SS)**

4,5 VU Advanced Multiprocessor Programming

## **D. Semesterempfehlung für schiefeinsteigende Studierende**

### **1. Semester (SS)**

4,0 VO Discrete Mathematics

5,0 UE Discrete Mathematics

6,0 VU Formal Methods in Computer Science

3,0 UE Formal Methods in Computer Science

4,5 VU Advanced Multiprocessor Programming

## **E. Prüfungsfächer mit den zugeordneten Modulen und Lehrveranstaltungen**

Die mit einem Stern markierten Module sind Wahl-, die übrigen Pflichtmodule.

### **Prüfungsfach „Mathematics and Theoretical Computer Science“**

#### **Modul „Discrete Mathematics“ (9 ECTS)**

4,0/4,0 VO Discrete Mathematics

5,0/2,5 UE Discrete Mathematics

#### **Modul „Formal Methods in Computer Science“ (9.0 ECTS)**

6,0/4,0 VU Formal Methods in Computer Science

3,0/2,0 UE Formal Methods in Computer Science

#### **\*Modul „Wahlmodul Mathematics and Theoretical Computer Science“**

3,0/2,0 VU Komplexitätstheorie

4,5/3,0 VO Angewandtes Operations Research

1,5/1,0 UE Angewandtes Operations Research

3,0/2,0 VU Kryptographie

6,0/4,0 VO Functional Analysis 1

2,0/1,0 UE Functional Analysis 1

4,5/3,0 VO Complex Analysis

1,5/1,0 UE Complex Analysis

4,5/3,0 VO Topologie

1,5/1,0 UE Topologie

### **Prüfungsfach „Algorithms and Programming“**

#### **Modul „Advanced Multiprocessor Programming“ (4,5 ECTS)**

4,5/3,0 VU Advanced Multiprocessor Programming

#### **\*Modul „Wahlmodul Algorithms and Programming“**

6,0/4,0 VU Algorithmics

3,0/2,0 VU Heuristic Optimization Techniques

3,0/2,0 VU Fixed-Parameter Algorithms and Complexity

3,0/2,0 VU Structural Decomposition and Algorithms

4,5/3,0 VO Analysis of Algorithms

1,5/1,0 UE Analysis of Algorithms

4,5/3,0 VU Semantik von Programmiersprachen

3,0/2,0 VO Codegeneratoren

3,0/2,0 VU Optimierende Übersetzer

6,0/4,0 VU GPU Architectures and Computing

6,0/4,0 VU Parallele und Echtzeitprogrammierung  
3,0/2,0 VU Algorithmic Geometry

## **Prüfungsfach „Dependable Distributed Systems (SB)“**

### **Modul „Verteilte Algorithmen“ (6 ECTS)**

6,0/4,0 VU Distributed Algorithms

### **\*Modul „Wahlmodul Dependable Distributed Systems“**

4,5/3,0 VU Problems in Distributed Computing  
4,5/4,5 LU Building Reliable Distributed Systems  
6,0/4,0 VU Verteiltes Programmieren mit Space Based Computing Middleware  
4,5/3,0 VO Communication Networks 1  
4,5/3,0 VU Communication Networks 2  
3,0/2,0 VU Network Security  
3,0/2,0 VU Network Security - Advanced Topics  
3,0/2,0 VU Parallele Algorithmen  
4,5/3,0 VU High Performance Computing Hochleistungsrechnen  
3,0/2,0 VU Protocol Verification  
6,0/4,0 VU Parallele und Echtzeitprogrammierung  
6.0/4,0 VU Formal Methods for Security and Privacy

## **Prüfungsfach „Digital Circuits and Systems (SB)“**

### **Modul „Advanced Digital Design and Computer Architecture“ (9 ECTS)**

4,5/3,0 VU Advanced Digital Design  
4,5/3,0 VU Advanced Computer Architecture

### **\*Modul „Wahlmodul Digital Circuits and Systems“**

1,5/1,5 LU Advanced Digital Design  
1,5/1,5 VU HW/SW Codesign  
4,5/4,5 LU HW/SW Codesign  
4,0/3,0 VU Halbleiterphysik  
3,0/3,0 VU Vertiefung FPGA-Design  
1,5/1,0 VU SoC Architektur und Design  
3,0/2,0 VU Application-Specific Computing Architectures and Systems  
3,0/2,0 VU Embedded Systems in FPGAs  
3,0/2,0 SE SoC Design Seminar  
4,5/3,0 UE SoC Design Laboratory

## **Prüfungsfach „Digital Signal Processing and Communication (SB)“**

### **Modul „Signal Processing“ (9 ECTS)**

4,5/3,0 VU Signal Processing 1

4,5/3,0 VU Signal Processing 2

### **\*Modul „Wahlmodul Digital Signal Processing and Communication“**

3,0/2,0 VO Quellencodierung

4,5/3,0 VU Digital Communications 1

4,5/3,0 VU Digital Communications 2

4,0/3,0 VU Digitale Signalverarbeitung, Vertiefung

7,0/4,0 VU Signalverarbeitung, Vertiefung

3,0/2,0 VU Robuste und verlässliche Kommunikationssysteme

6,0/4,0 VU Wireless Communications 1

3,0/2,0 VO Wireless Communications 2

3,0/2,0 LU Lab Wireless Communications

3,0/2,0 VU Impulstechnik

3,0/2,0 VU Satellitennavigation

## **Prüfungsfach „Computer-Aided Verification (SB)“**

### **Modul „Computer-Aided Verification“ (6 ECTS)**

3,0/2,0 VU Computer-Aided Verification

3,0/2,0 UE Computer-Aided Verification

### **\*Modul „Wahlmodul Computer-Aided Verification“**

3,0/2,0 VU SAT Solving und Erweiterungen

3,0/2,0 UE Computer-Aided Verification

3,0/2,0 VU Programmanalyse

6,0/4,0 VU Software Model Checking

3,0/2,0 VU Protocol Verification

6,0/4,0 VU Automated Deduction

3,0/2,0 VU Advanced Topics in Theoretical Computer Science

6,0/4,0 VU Formal Methods for Security and Privacy

## **Prüfungsfach „Cyber-Physical Systems (SB)“**

### **Modul „Stochastische Grundlagen von Cyber-Physical Systems“ (6 ECTS)**

6,0/4,0 VU Stochastic Foundations of Cyber-Physical Systems

### **\*Modul „Wahlmodul Cyber-Physical Systems“**

6,0/4,0 VU Logical Foundations of Cyber-Physical Systems

3,0/2,0 VU Runtime Verification

3,0/2,0 VO Regelungssysteme 1  
1,5/1,0 LU Regelungssysteme 1  
4,5/3,0 VO Regelungssysteme 2  
4,5/3,0 LU Regelungssysteme 2  
4,5/3,0 VU Optimierung  
3,0/2,0 VU Model Predictive Control  
4,5/3,0 VU Regelung verteilt-parametrische Systeme  
4,5/3,0 VU Fortgeschrittene Methoden der Modellbildung  
4,5/3,0 VU Fortgeschrittene Methoden der nichtlinearen Regelung  
3,0/2,0 VU Zeitanalyse von sicherheitskritischen Echtzeitsystemen  
3,0/2,0 VU Real-Time Scheduling  
6,0/4,0 VU Internet of Things  
4,5/3,0 VU Mobile Robotik  
6,0/4,0 VU Machine Vision und kognitive Robotik

## **Prüfungsfach „Automation (SB)“**

### **Modul „Information Technology in Automation“ (6 ECTS)**

6,0/4,0 VU Information Technology in Automation

### **\*Modul „Wahlmodul Automation“**

6,0/4,0 VU Mechatronische Systeme  
3,0/2,0 LU Labor Mechatronische Systeme  
3,0/2,0 VO Automatisierungs- und Steuerungssysteme  
3,0/2,0 LU Labor Automatisierungs- und Steuerungssysteme  
3,0/2,0 VU Sensoren und optoelektronische Bauelemente  
3,0/3,0 VU Wireless in Automation  
4,5/4,5 VU Home and Building Automation  
4,5/3,0 VO Communication Networks 1  
4,5/3,0 VU Communication Networks 2  
3,0/2,0 VU Network Security  
3,0/2,0 VU Network Security - Advanced Topics  
6,0/4,0 VU Internet of Things  
4,5/3,0 VU Mobile Robotik  
6,0/4,0 VU Machine Vision und kognitive Robotik

## **Prüfungsfach „Verbreiterung“**

### **\*Modul „Wahlmodul Verbreiterung“**

6,0/4,0 VU Knowledge-based Systems  
6,0/4,0 VU Model Engineering  
4,5/3,0 VU Computer Vision

4,5/3,0 VU Mustererkennung  
2,0/2,0 VO Virtual and Augmented Reality  
4,0/3,0 UE Virtual and Augmented Reality  
6,0/1,0 PR Projektarbeit in Technischer Informatik  
6,0/1,0 PR Scientific Project in Technischer Informatik  
3,0/2,0 SE Seminar in Technischer Informatik

## **Prüfungsfach „Freie Wahlfächer und Transferable Skills“**

**Modul „Freie Wahlfächer und Transferable Skills“ (9,0 ECTS)**

## **Prüfungsfach „Diplomarbeit“**

1,5/1,0 SE Seminar für Diplomand\_innen  
1,5 ECTS Kommissionelle Abschlussprüfung  
27,0 ECTS Diplomarbeit



## F. Wahlfachkatalog „Transferable Skills“

Die Lehrveranstaltungen, die im Modul *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* aus dem Themenbereich „Transferable Skills“ zu wählen sind, können unter anderem aus dem folgenden Katalog gewählt werden.

- 3,0/2,0 SE Coaching als Führungsinstrument 1
- 3,0/2,0 SE Coaching als Führungsinstrument 2
- 3,0/2,0 SE Didaktik in der Informatik
- 1,5/1,0 VO EDV-Vertragsrecht
- 3,0/2,0 VO Einführung in die Wissenschaftstheorie I
- 3,0/2,0 VO Einführung in Technik und Gesellschaft
- 3,0/2,0 SE Folgenabschätzung von Informationstechnologien
- 3,0/2,0 VU Forschungsmethoden
- 3,0/2,0 VO Frauen in Naturwissenschaft und Technik
- 3,0/2,0 SE Gruppendynamik
- 3,0/2,0 VU Italienisch für Ingenieure I
- 3,0/2,0 VU Kommunikation und Moderation
- 3,0/2,0 SE Kommunikation und Rhetorik
- 1,5/1,0 SE Kommunikationstechnik
- 3,0/2,0 VU Kooperatives Arbeiten
- 3,0/2,0 VU Präsentation und Moderation
- 1,5/1,0 VO Präsentation, Moderation und Mediation
- 3,0/2,0 UE Präsentation, Moderation und Mediation
- 3,0/2,0 VU Präsentations- und Verhandlungstechnik
- 4,0/4,0 SE Privatissimum aus Fachdidaktik Informatik
- 3,0/2,0 SE Rechtsinformatikrecherche im Internet
- 3,0/2,0 VU Rhetorik, Körpersprache, Argumentationstraining
- 3,0/2,0 VU Technisches Russisch I
- 3,0/2,0 VU Technisches Russisch II
- 3,0/2,0 VU Technisches Spanisch I
- 3,0/2,0 VU Technisches Spanisch II
- 3,0/2,0 VU Softskills für TechnikerInnen
- 3,0/2,0 VU Technical English Communication
- 3,0/2,0 VU Technical English Presentation
- 3,0/2,0 VU Techniksoziologie und Technikpsychologie
- 3,0/2,0 VU Technisches Französisch, Hohes Niveau I
- 3,0/2,0 VO Theorie und Praxis der Gruppenarbeit
- 3,0/2,0 VO Zwischen Karriere und Barriere

## **G. Erweiterungsstudium Innovation**

Studierende, die ihre im Masterstudium erworbenen Kompetenzen für die Gründung eines Startups bzw. im Management eines Unternehmens oder für Projektarbeit im universitären Umfeld anwenden wollen, können die für diese Tätigkeiten notwendigen zusätzlichen Kompetenzen im Rahmen des Erweiterungsstudiums *Innovation* erwerben, welches begleitend zum Masterstudium absolviert werden kann.

Der (zusätzliche) Arbeitsaufwand für das englischsprachige Erweiterungsstudium *Innovation* beträgt 30 ECTS-Punkte (dies entspricht einem Semester). Der Abschluss des Erweiterungsstudiums *Innovation* kann auch noch nach Abschluss des Masterstudiums erfolgen.