



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Bachelor

**Master**

Doktorat

Universitäts-  
lehrgang

Studienplan (Curriculum)  
für das  
**Masterstudium**  
**Computational Science and Engineering**  
**E 066 646**

Technische Universität Wien  
Beschluss des Senats der Technischen Universität Wien  
mit Wirksamkeit 22. Juni 2020

Gültig ab 1. Oktober 2020

# Inhaltsverzeichnis

1. Grundlage und Geltungsbereich	3
2. Qualifikationsprofil	3
3. Dauer und Umfang	5
4. Zulassung zum Masterstudium	5
5. Aufbau des Studiums	7
6. Lehrveranstaltungen	12
7. Prüfungsordnung	12
8. Studierbarkeit und Mobilität	13
9. Diplomarbeit	14
10. Akademischer Grad	15
11. Qualitätsmanagement	15
12. Inkrafttreten	17
13. Übergangsbestimmungen	17
A. Modulbeschreibungen	18
B. Lehrveranstaltungstypen	44
C. Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen	45
D. Semesterempfehlung für schiefeinsteigende Studierende	46
E. Prüfungsfächer mit den zugeordneten Modulen und Lehrveranstaltungen	47
F. Empfehlungen für die Wahl der Schlüsselbereiche	51

# 1. Grundlage und Geltungsbereich

Der vorliegende Studienplan definiert und regelt das ingenieurwissenschaftliche, englischsprachige Masterstudium *Computational Science and Engineering* 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 *Computational Science and Engineering* vermittelt eine vertiefte, wissenschaftlich und methodisch hochwertige, auf dauerhaftes Wissen ausgerichtete Bildung, welche die Absolvent\_innen sowohl für eine Weiterqualifizierung vor allem im Rahmen eines facheinschlägigen Doktoratsstudiums als auch für eine Beschäftigung in beispielsweise folgenden Tätigkeitsbereichen befähigt und international konkurrenzfähig macht.

- Angewandte Forschung und Entwicklung in der Industrie, an außeruniversitären Forschungseinrichtungen und an Universitäten
- Forschungsbasierte Entwicklung von innovativen und computergestützten Hochleistungs-Simulationen und die dafür notwendigen Methoden in Eigenverantwortung und im Team
- Verbesserung von rechenintensiven, computergestützten Simulationsprogrammen in ingenieur- und naturwissenschaftlichen Anwendungsbereichen von hoher wissenschaftlicher und industrieller Relevanz, insbesondere (alphabetisch geordnet) in den Bereichen Bauingenieurwesen, Chemie, Elektrotechnik, Informatik, Informationstechnik, Maschinenwesen, Mathematik und Physik

Der stetige und unaufhaltsame Fortschritt in Wissenschaft und Technik ist zunehmend von rechenintensiven Computersimulationen abhängig – eine Folge der fortschreitenden Digitalisierung. Dies hat nicht nur zu neuen Forschungsbereichen wie *Computational Science and Engineering* geführt, sondern auch zu neuen Technologien in der Industrie, wie zum Beispiel Industrie 4.0. Allen gemein ist die Notwendigkeit, die involvierten Computerberechnungen immer präziser, effizienter und schneller durchführen zu müssen. Daraus entsteht eine immer stärker werdende Nachfrage an Expert\_innen, welche nicht nur das theoretische Wissen in den Bereichen der numerischen Mathematik und der rechenintensiven Informatik besitzen, sondern dieses Wissen auch auf ingenieur- und naturwissenschaftliche Anwendungsbereiche von hoher wissenschaftlicher und industrieller Relevanz anzuwenden wissen. Um dies effektiv durchführen zu können, ist ein gewisses Grundverständnis der entsprechenden Anwendungsbereiche unerlässlich.

Gemäß ihrer Devise *Technik für Menschen* und ihrer Exzellenz in den Ingenieurwissenschaften stellt sich die Technische Universität Wien mit einer Fokussierung ihrer

Aktivitäten im Bereich Computational Science and Engineering dieser Herausforderung sowohl in der Forschung als auch in der forschungsgeleiteten Lehre.

Das forschungsorientierte Masterstudium *Computational Science and Engineering* hat die Ambition internationale Studierende mit hoher Begabung anzuziehen, um langfristig Spitzenniveau zu erreichen. Aufgrund der internationalen Ausrichtung dieses Studiums und des internationalen Gegenstandes von Computational Science and Engineering werden alle Pflichtlehrveranstaltungen dieses Masterstudiums in englischer Sprache abgehalten. Ein Zulassungsprozess stellt eine qualitative Ausbildung auf höchstem Niveau sicher.

Das Masterstudium *Computational Science and Engineering* vermittelt Grundlagenwissen im Bereich der angewandten Mathematik und Informatik und ermöglicht eine Schwerpunktsetzung über zwei Prüfungsfächer als Schlüsselbereiche aus einem fakultätsübergreifenden Katalog (alphabetisch geordnet): Computational Building Science, Computational Chemistry and Material Science, Computational Electronics, Computational Fluid Dynamics and Acoustics, Computational Informatics, Computational Mathematics, Computational Mechatronics, Computational Solid Mechanics. Jedes dieser Wahlmodule ist aufgebaut aus (verpflichtenden und) optionalen Lehrveranstaltungen. Dies ermöglicht sowohl eine Angleichung des Ausbildungsniveaus als auch eine flexible Anpassung an die Interessen und Stärken der jeweiligen Studierenden. Um die Studierenden adäquat vorzubereiten, wird das Wissen sowohl selbstverantwortlich in Eigenregie als auch in Gruppen erarbeitet.

Die Absolvent\_innen dieses Masterstudiums verfügen über weitgehende Kenntnisse in den Grundlagenfächern und in ausreichendem Maße über wesentliche Kenntnisse in den gewählten Themengebieten der Schwerpunktmodule. Dies ermöglicht den Absolvent\_innen, andere Expert\_innen, welche nicht-computermethodische Expertisen aufweisen, bei der Erstellung und Optimierung von rechenintensiven Simulationen und deren Methoden federführend zu unterstützen.

Aufgrund der beruflichen Anforderungen werden im Masterstudium *Computational Science and Engineering* Qualifikationen hinsichtlich folgender Kategorien vermittelt.

#### **Fachliche und methodische Kompetenzen Absolvent\_innen**

- verstehen den Aufbau von rechenintensiven, computergestützten Simulationsprogrammen und die Zusammenhänge zwischen den individuellen Teilgebieten, die dafür relevanten theoretischen Grundlagen, methodischen Werkzeuge und Modellvorstellungen sowie die diesen zugrundeliegenden Voraussetzungen,
- verstehen aktuelle Hochleistungs-Computerarchitekturen und deren zukünftige Entwicklung und können darauf abgestimmt optimale Entscheidungen für die Entwicklung von innovativen Hochleistungs-Rechenmethoden ableiten,
- verfügen über breite wissenschaftliche Grundlagenkenntnisse, vermittelt über eine an aktuellen Erkenntnissen orientierte Ausbildung in den Bereichen paralleles Rechnen und Programmierung, wissenschaftliches Rechnen, angewandte Mathematik und in zwei Prüfungsfächer als Schlüsselbereiche, welche von den Studierenden aus einem Katalog gewählt werden können,

- verfügen über Forschungserfahrungen, vermittelt in den Schlüsselbereichen via Übungseinheiten, Seminare und Projekte, welche an aktuelle Forschungsentwicklungen ausgerichtet sind und eine Erarbeitung von aktuellen Forschungsfragen erlauben.

### **Kognitive und praktische Kompetenzen Absolvent\_innen**

- verfügen über Lösungskompetenz für interdisziplinäre Probleme,
- sind in der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln,
- können Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

### **Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen Absolvent\_innen**

- verfügen über analytisches, methodisches, lösungs- und gestaltungsorientiertes Denken, können Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und eigenes Handeln kritisch reflektieren und tragen somit gesellschaftliche Verantwortung,
- können selbstverantwortlich und wissenschaftlich arbeiten, weisen Vermittlungs- und Teamfähigkeit auf, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation,
- sind dazu befähigt, ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten,
- sind auch darauf vorbereitet, ihr berufliches Profil durch weiterführende Studien in anderen Fachbereichen zu erweitern,
- verfügen durch die vollständige auf Englisch abgehaltene Ausbildung über international konkurrenzfähige Kenntnisse der englischen Sprache.

## **3. Dauer und Umfang**

Der Arbeitsaufwand für das Masterstudium *Computational Science and Engineering* 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 *Computational Science and Engineering* 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.

Fachlich in Frage kommend sind jedenfalls die Bachelorstudien *Bauingenieurwesen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Medieninformatik und Visual Computing, Medizinische Informatik, Software & Information Engineering, Technische Informatik, Wirtschaftsinformatik, Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen – Maschinenbau, Technische Chemie, Verfahrenstechnik, Technische Mathematik, Finanz- und Versicherungsmathematik, Statistik und Wirtschaftsmathematik, Geodäsie und Geoinformatik* und *Technische Physik* der Technischen Universität Wien.

Fachlich in Frage kommend sind auch andere Studien, wenn sie an wissenschaftlicher Tiefe zumindest einem der zuvor angeführten Bachelorstudien vergleichbar sind. Insbesondere kommt ein Studium fachlich in Frage, wenn folgende Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen im Ausmaß von insgesamt mindestens 30 ECTS in den Bereichen *Informatik* und *Mathematik* vorhanden sind:

#### *Informatik*

- Programmiersprachen (mindestens eine): C; C++; Fortran; Java; Python
- Themen: Datenstrukturen; Algorithmen; Funktionen; Klassen; objektorientierte Programmierung; Computerarchitekturen

#### *Mathematik*

- Lineare Algebra mit Eigenwertproblemen: Matrix- und Vektorrechnung; Invertieren von Matrizen; Lösen von linearen Gleichungssystemen; Bestimmung von Determinanten, Eigenwerten und Eigenvektoren.
- Differential- und Integralrechnung in einer und mehreren Variablen: reelle und komplexe Zahlen; Funktionenbegriff; Folgen und Reihen; Ableitung in einer Variablen; Integration in einer Variablen; Potenzreihen; Gradienten und totale Ableitung; einfache mehrdimensionale Bereichsintegrale (Rechtecke, Dreiecke).
- Gewöhnliche Differentialgleichungen: lineare Differentialgleichungen; Lösung mittels Trennung der Variablen.

Wenn die Gleichwertigkeit grundsätzlich gegeben ist und nur einzelne Ergänzungen auf die volle Gleichwertigkeit fehlen, können zur Erlangung der vollen Gleichwertigkeit alternative oder zusätzliche Lehrveranstaltungen und Prüfungen im Ausmaß von maximal 30 ECTS-Punkten vorgeschrieben werden, die im Laufe des Masterstudiums zu absolvieren sind. Sie können im Modul Freie Wahlfächer und Transferable Skills im Ausmaß von max. 4.5 ECTS angerechnet werden.

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.

Manche ergänzenden Lehrveranstaltungen zur Erlangung der vollen Gleichwertigkeit des absolvierten Studiums werden auf Deutsch angeboten. Daher werden Deutschkenntnisse nach Referenzniveau B1 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens für Sprachen empfohlen.

Vereinzelte Wahlmodule empfehlen zusätzliche Vorkenntnisse, die zwar angeraten sind aber für die Zulassung nicht relevant sind. Weitere Informationen sind den Beschreibungen der Wahlmodule zu entnehmen.

## 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 *Computational Science and Engineering* gliedert sich in nachstehende Prüfungsfächer mit den ihnen zugeordneten Modulen. Neben den Pflichtmodulen der Grundlagen-Prüfungsfächer *Computer Science*, *Scientific Computing* und *Applied Mathematics* sind mindestens zwei Prüfungsfächer als Schlüsselbereiche (SB) zu wählen; deren gleichnamige Module bestehen entweder aus Pflicht- und Wahllehrveranstaltungen oder ausschließlich aus Wahllehrveranstaltungen. Von den Wahllehrveranstaltungen der gewählten Schlüsselbereiche muss je Schlüsselbereich zumindest eine Vorlesung (VO) oder eine Vorlesung mit integrierter Übung (VU) gewählt werden. Werden in den gewählten Schlüsselbereichen insgesamt mehr als 30 ECTS-Punkte absolviert, können im Modul *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* im gleichen Ausmaß weniger ECTS-Punkte absolviert werden, jedoch sind darin mindestens 4,5 ECTS-Punkte aus dem Bereich der Transferable Skills zu absolvieren.

#### Computer Science (17,0 ECTS)

Parallel Computing  
Programming

#### Scientific Computing (15,0 ECTS)

Scientific Computing

#### Applied Mathematics (18,0 ECTS)

Applied Mathematics Foundations  
Numerical Computation  
Numerical Partial Differential Equations

**SB Computational Building Science (15,0 ECTS)**

Computational Building Science

**SB Computational Chemistry and Materials Science (15,0 ECTS)**

Computational Chemistry and Materials Science

**SB Computational Electronics (15,0 ECTS)**

Computational Electronics

**SB Computational Fluid Dynamics and Acoustics (15,0 ECTS)**

Computational Fluid Dynamics and Acoustics

**SB Computational Informatics (15,0 ECTS)**

Computational Informatics

**SB Computational Mathematics (15,0 ECTS)**

Computational Mathematics

**SB Computational Mechatronics (15,0 ECTS)**

Computational Mechatronics

**SB Computational Solid Mechanics (15,0 ECTS)**

Computational Solid Mechanics

**Freie Wahlfächer und Transferable Skills (10,0 ECTS)**

Freie Wahlfächer und Transferable Skills

**Diplomarbeit (30,0 ECTS)**

Siehe Abschnitt 9.



## Kurzbeschreibung der Module

Dieser Abschnitt charakterisiert die Module des Masterstudiums *Computational Science and Engineering* in Kürze. Eine ausführliche Beschreibung ist in Anhang A zu finden.

**Applied Mathematics Foundations (5,5 ECTS)** Dieses Modul vermittelt die mathematischen Grundlagen für das Studium. Insbesondere liegt der Fokus auf einer detaillierten Einführung in partielle Differentialgleichungen, Differentialoperatoren und Vektoranalysis. Eine umfassende Einführung in die höhere Integral- und Funktionentheorie wie auch in die Variationsrechnung, Optimierung und Tensor-Rechnung runden die Ausbildung in diesem Modul ab.

**Numerical Computation (5,5 ECTS)** Das Modul Numerical Computation vermittelt grundlegende Konzepte numerischer Lösungsmethoden und ihre algorithmische Umsetzung. Insbesondere werden die Lösung von linearen und nichtlinearen Gleichungssysteme, die polynomiale Interpolation sowie Fehleranalyse von numerischen Verfahren besprochen. Zahlreiche Anwendungsbeispiele veranschaulichen die theoretischen Grundlagen und helfen die Konzepte zu verstehen.

**Numerical Partial Differential Equations (7,0 ECTS)** Numerische partielle Differentialgleichungen sind ein Teilgebiet der numerischen Analysis, das sich mit der numerischen Lösung von partiellen Differentialgleichungen befasst. Das Modul Numerical Partial Differential Equations vermittelt die Grundlagen zur numerischen Lösung von partiellen Differentialgleichungen. Es werden zentrale Methoden wie zum Beispiel die Finite Elemente Methode oder die Finite Differenzen Methode besprochen. Die theoretischen Methoden werden an zahlreichen Anwendungsbeispielen illustriert und die praktische Umsetzung wird besprochen. Nach Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage, partielle Differentialgleichungen mit verschiedenen Methoden numerisch zu lösen.

**Parallel Computing (12,0 ECTS)** Dieses Modul vermittelt Grundlagen und weiterführende Grundlagen im Bereich effizientes Nutzen und Programmieren von modernen Parallelrechner mit gemeinsamem Speicher (Mehrkernsysteme) und großen aktuellen Systeme mit verteiltem Speicher sowie heterogenen Systemen mit unterschiedlichen Arten von Beschleunigern. Allgemeine Leistungs- und Effizienzmerkmale für parallele Algorithmen, Designparadigmen für unterschiedliche Rechnermodelle, Schranken für Parallelisierbarkeit werden auf unterschiedliche Weise eingeführt. Architekturmerkmale für das effiziente Nutzen von solchen Systemen (Speicher- und Cache-system) werden behandelt und gängige Schnittstellen im Bereich wie OpenMP und MPI werden vertiefend behandelt, ebenso thread-paralleles Programmieren mit C/C++, und wissenschaftliches Rechnen mit Python. Außerdem werden wichtige Werkzeuge und Pakete vorgestellt.

**Programming (5,0 ECTS)** Dieses Modul vermittelt Grundlagen in der Programmierung mit Fokus auf wissenschaftlichem Rechnen. Es werden Grundlagen der Python-Programmierung und erweiterte Programmierkenntnisse in C++ vermittelt. Insbesondere wird auf grundlegende Programmierkonzepte und Programmierstile eingegangen. Wichtige Standard-Bibliotheken werden durchgenommen und darauf aufbauend werden

relevante, externe Softwarepakete vorgestellt und verwendet. Grundlagen des objektorientierten Programmierens und Design Patterns werden vermittelt. Es wird auf Leistungsaspekte wie auch auf Bibliotheksentwicklung und Schnittstellenprogrammierung eingegangen.

**Scientific Computing (15,0 ECTS)** Dieses Modul vermittelt Kernkompetenzen im Bereich Computational Science and Engineering. Insbesondere werden die verschiedenen Schlüsselbereiche vorgestellt und es wird auf die Rolle der Ausbildungsrichtung im Kontext von Digitalisierung und auf ethische Aspekte im Geiste des TU-Wien-Slogans Technik für Menschen eingegangen. Der Hauptteil des Moduls fokussiert sich auf die Vermittlung eines breiten Spektrums an Techniken und Methoden, welche die Grundlagen für die weitere Ausbildung im Studium Computational Science and Engineering darstellen.

**Computational Building Science (15,0 ECTS)** Dieses Modul bietet eine vertiefende Ausbildung zur Weiterentwicklung numerischer Berechnungs- und Simulationsmethoden zur Analyse, Planung, Ausführung und den Betrieb der gebauten Umwelt. Dabei werden Aspekte von der Innenraumqualität (thermischer, akustischer und optischer Komfort und Luftqualität) über die langfristige Minimierung von Risiken frühzeitigen Versagens (Dauerhaftigkeit von Konstruktionen unter Umwelteinwirkungen, Tragverhalten auch unter Extremereignissen oder im Brandfall) bis hin zur Analyse der Auswirkungen von Veränderungen in der gesellschaftlichen Struktur auf den Gebäudebestand oder die Auslastung der Infrastruktur (Mobilität, Energieversorgung) im urbanen und ländlichen Kontext analysiert, um Entscheidungen in Richtung einer nachhaltigen, versorgungssicheren Kreislaufwirtschaft unterstützen zu können. Numerische Methoden werden dabei in allen Systemkomponenten verwendet: bei der Prognose des Makro- und Mikroklimas, beim Verhalten von Personen in Gebäuden, bei der Prognose des Modal-Split, bei den Auswirkungen von Wärme- und Stoffströmen in Konstruktionen auf Verformung, physikalische, chemische und biologische Korrosion bis zur Auslastung von Mobilitäts- und Energieversorgungssystemen.

**Computational Chemistry and Materials Science (15,0 ECTS)** Dieses Modul konzentriert sich auf die Techniken die erforderlich sind, um die Eigenschaften kondensierter Materie basierend auf atomistischen Berechnungen sowohl für molekulare als auch für Festkörpersysteme zu verstehen und vorherzusagen. Es umfasst zwei verpflichtende Einführungskurse zur Vorbereitung der Grundlagen und Spezialisierungskurse, die sich mit dem konzeptionellen Hintergrund und der Implementierung der relevantesten Themen der Quantenchemie, elektronischen Strukturen und atomistischen Simulationsmethoden befassen, die derzeit in Wissenschaft und Industrie verwendet werden.

**Computational Electronics (15,0 ECTS)** Dieses Wahlmodul bietet eine vertiefende Ausbildung in die simulationsintensiven Themenbereiche der Elektronik. Eine verpflichtende Einführung sowohl in die Halbleiterphysik und in Halbleiterbauelemente als auch in die Finite Elemente-Methode bildet den Einstieg. Frei wählbare Lehrveranstaltungen ermöglichen eine Vertiefung in die Simulation von Halbleiterbauelementen, Halbleitersensoren, Mikro- und Nanoelektromechanischen Systemen und Mehrfeldproblemen. Ei-

ne Auseinandersetzung mit aktuellen Forschungsfragen wird insbesondere über Praktika und Seminare ermöglicht.

**Computational Fluid Dynamics and Acoustics (15,0 ECTS)** Dieses Modul vermittelt fundamentale Konzepte in der Strömungsmechanik, Aerodynamik und Akustik, beginnend von den grundlegenden Gleichungen bis hin zu mathematischen Lösungsmethoden der beschreibenden gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen. Dabei wird der Stand der Technik im Bereich der numerischen Verfahren zur Analyse von kompressiblen, inkompressiblen und aeroakustischen Phänomenen vermittelt. Aktuelle Forschungsfragen werden von den Studierenden erarbeitet. Nach erfolgreicher Absolvierung dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage, komplexe strömungsmechanische Zusammenhänge wie Laminar-Turbulenz-Übergänge sowie Turbulenzeigenschaften zu erklären, mathematisch zu modellieren und numerisch zu berechnen.

**Computational Informatics (15,0 ECTS)** Dieses Modul vermittelt weiterführende Konzepte im Bereich Datenmanagement sowie Lösungsstrategien für effiziente Algorithmen. Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden problemspezifische Lösungen für die Analyse großer Daten erarbeiten, performante Algorithmen entwickeln und aktuelle Forschungsfragen identifizieren.

**Computational Mathematics (15,0 ECTS)** Dieses Modul vermittelt vertiefende Kenntnisse in die Numerik und baut insbesondere auf die Module Numerical Computation und Numerical Partial Differential Equations auf und vertieft diese. Es besteht die Möglichkeit sich in die numerische Lösung von instationären partiellen Differentialgleichung, Optimierung von partiellen Differentialgleichungen als auch in Finite Elemente-Methoden mit Hinblick auf technische Anwendungen zu vertiefen. Weiters führt das Modul in zentrale Modellierungsansätze, Algorithmen, Technologien und Methoden zur problemspezifischen Lösung von Anwendungsproblemen ein. Die Studierenden haben die Möglichkeit sich mit aktuellen Forschungsfragen auseinanderzusetzen und sich in die Materie einzuarbeiten.

**Computational Mechatronics (15,0 ECTS)** Das Modul vermittelt vertiefende Kenntnisse im Bereich der physikalischen Modellierung und numerischen Simulation mittels der Finiten Elemente-Methode für gekoppelte Probleme, wie sie typischerweise bei der Entwicklung von mechatronischen Systemen (elektromagnetische Schienenbremse, Akustik von Klimaanlage, piezoelektrische MEMS-Lautsprecher, MEMS und NEMS Druck- und Viskositätssensoren sowie Mikrofone, elektromagnetische Induktionssysteme für Stahlbanderwärmung in Produktionssystemen, etc.) vorkommen. Dabei wird das erforderliche physikalische Hintergrundwissen von mechanischen, elektromagnetischen, strömungsmechanischen, thermischen und akustischen Feldern sowie deren Kopplungen vermittelt, um konkrete Problemstellungen aus der Praxis behandeln zu können. Nach erfolgreicher Absolvierung dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage, forschungsrelevante Themen zu identifizieren, mathematisch-physikalische Modelle von realen Problemstellungen zu erstellen, mittels geeigneter Simulationsprogramme zu lösen und die Ergebnisse physikalisch korrekt zu interpretieren.

**Computational Solid Mechanics (15,0 ECTS)** Das Modul vermittelt vertiefende

Kenntnisse in der Anwendung von numerischen Methoden im Bereich der Festkörpermechanik. Neben den Grundlagen der Finite Elemente Methode wird den Studierenden, je nach Schwerpunktsetzung innerhalb des Moduls (Isogeometric Analysis, Material Modelling, Multiphysics, Nonlinear Finite Element Methods), das benötigte theoretische Hintergrundwissen vermittelt, um konkrete forschungsrelevante Problemstellungen aus dem jeweiligen Bereich mittels geeigneter Programme eigenständig behandeln zu können. Nach Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage, reale technische Aufgaben in mathematische Modelle umzusetzen, mittels entsprechender Programme zu lösen, die Ergebnisse zu interpretieren und in Form technischer Berichte zu dokumentieren. Zudem sind die Studierenden befähigt, eigene Finite Elemente-Routinen zu implementieren und ein bestehendes Finite Elemente-Programm durch eigene Module zu erweitern.

**Freie Wahlfächer und Transferable Skills (10,0 ECTS)** Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls dienen der Vertiefung des Faches sowie der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen.

## 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 und
3. die positive Absolvierung 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 *Computational Science and Engineering* 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.

Eine Lehrveranstaltung aus den Pflichtmodulen und gewählten Wahlmodulen ist nur dann zu absolvieren, wenn nicht schon eine äquivalente Lehrveranstaltung in dem der Zulassung zum Masterstudium zu Grunde liegenden Studium absolviert wurde; ansonsten sind an ihrer Stelle eine oder mehrere beliebige Lehrveranstaltungen aus den nicht gewählten Modulen des Masterstudiums im selben ECTS-Punkteumfang zu absolvieren, die dann bezüglich Prüfungsfachzuordnung und Klauseln die Rolle der solcherart ersetzten Lehrveranstaltung einnehmen. Die Äquivalenzfeststellung obliegt dem Studienrechtlichen Organ.

Für die Wahl einer Lehrveranstaltung in die anderen Module gilt in jedem Fall, dass diese nicht nochmals als Lehrveranstaltung für das entsprechende Modul gewählt werden kann, wenn eine dazu äquivalente Lehrveranstaltung zur Erreichung jenes Studienabschlusses notwendig war, auf dem das Masterstudium aufbaut. An ihrer Stelle sind beliebige noch nicht gewählte Lehrveranstaltungen aus den nicht gewählten Modulen des Masterstudiums im selben ECTS-Punkteumfang zu absolvieren, die dann bezüglich Prüfungsfachzuordnung und Klauseln die Rolle der solcherart ersetzten Lehrveranstaltung einnehmen. Die Äquivalenzfeststellung obliegt dem Studienrechtlichen Organ.

Lehrveranstaltungen, die bereits vor Beginn des Masterstudiums absolviert wurden, aber nicht zur Erreichung jenes Studienabschlusses notwendig waren, auf dem das Masterstudium aufbaut, sind gemäß § 78 UG für Lehrveranstaltungen des Masterstudiums anzuerkennen.

Beruhet die Zulassung zum Masterstudium auf einem Studium mit mehr als 180 ECTS-Punkten, so kann das Studienrechtliche Organ diesen Mehrbetrag an ECTS-Punkten feststellen und auf Antrag der/des Studierenden einen individuellen Katalog von Lehrveranstaltungen aus den Prüfungsfächern festlegen, welche aus dem für die Zulassung zum Masterstudium zu Grunde liegenden Studium als äquivalent anerkannt werden, ohne dass dafür andere Lehrveranstaltungen gewählt werden müssen. Der Umfang dieses individuellen Katalogs darf nicht größer als der Mehrbetrag an ECTS-Punkten und nicht größer als 15 ECTS Punkte sein.

## 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. Die Diplomarbeit ist in englischer Sprache abzufassen.

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.

Wird ein „Seminar für Diplomand\_innen“ im Ausmaß von mehr als 1,5 ECTS-Punkten absolviert, so verringert sich die Anzahl der an Wahllehrveranstaltungen in den Schlüsselbereichen zu absolvierenden ECTS-Punkte um die über 1,5 hinausgehenden ECTS-Punkte vom absolvierten „Seminar für Diplomand\_innen“.

## 10. Akademischer Grad

Den Absolvent\_innen des Masterstudiums *Computational Science and Engineering* wird der akademische Grad „Master of Science“ – abgekürzt „MSc“ – verliehen.

## 11. Qualitätsmanagement

Das Qualitätsmanagement des Masterstudiums *Computational Science and Engineering* 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 dem Plan-Do-Check-Act Modell 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.

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, für die ressourcenbedingte Teilnahmebeschränkungen gelten, sind in der elektronisch zugänglichen Beschreibung der jeweiligen Lehrveranstaltung entsprechend gekennzeichnet. Außerdem sind dort die Anzahl der verfügbaren Plätze und das Verfahren zur Vergabe dieser Plätze anzugeben. Die Leiter\_innen von Lehrveranstaltungen sind berechtigt, mehr Teilnehmer\_innen und 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 2020 in Kraft.

## **13. Übergangsbestimmungen**

Die Übergangsbestimmungen werden gesondert im Mitteilungsblatt verlautbart und liegen im Dekanat der Fakultät für Mathematik und Geoinformation 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.

### Applied Mathematics Foundations

**Regelarbeitsaufwand:** 5,5 ECTS

#### Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden partielle Differentialgleichungen mit Hilfe von Operatoren, Vektoranalysis und höherer Integral-, Funktionentheorie aufstellen, analysieren und umformen. Weiters können die Studierenden die Grundlagen der Variationsrechnung, Optimierung und Tensorrechnung erklären und anwenden.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen Studierende über Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus der angewandten Mathematik; (2) können sie Lösungen praktisch auswerten und analysieren; (3) sind sie in der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (4) können sie Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) Fragestellungen im Bereich der angewandten Mathematik zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in der angewandten Mathematik und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

#### Inhalt:

- Vektoranalysis und Kurvenintegrale
- Flächenintegrale, Volumenintegrale und Integralsätze
- Partielle Differentialgleichungen
- Funktionentheorie
- Integraltransformationen

- Variationsrechnung und Optimierung
- Elemente der Tensorrechnung

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlagen der linearen Algebra, Differential- und Integralrechnung in einer und mehreren Variablen und gewöhnliche Differentialgleichungen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungsübung (VU) ist interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Ingenieurspraxis und aus der Forschung weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt laufend anhand von Übungs- und Projektarbeiten, und in abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

5,5/4,0 VU Foundations of Applied Mathematics

## Numerical Computation

**Regelarbeitsaufwand:** 5,5 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden problemspezifische, mathematische Lösungen von Anwendungsproblemen erstellen wie auch das Lösen von linearen und nichtlinearen Gleichungssystemen durchführen und verschiedene Interpolationstechniken anwenden. Damit verknüpfte Aspekte und Techniken, wie zum Beispiel Fehleranalyse, werden vermittelt.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen Studierende über Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus der Numerik; (2) können sie Lösungen praktisch auswerten und analysieren; (3) sind sie in der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (4) können sie Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der Numerik zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen im Bereich der Numerik und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:**

- Grundlegende Fehlerbegriffe
- Kondition mathematischer Probleme
- Datenfehler, Rundungsfehler und Fehleranalyse
- Diskretisierungsfehler
- Numerische Lösung von linearen und nichtlinearen Gleichungssystemen
- Numerische Differentiation und Integration
- Polynomiale Interpolation und Approximation
- Numerische Lösung von Differentialgleichungen

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlagen der linearen Algebra (Rechnen mit Matrizen und Vektoren) und grundlegende Programmierkenntnisse (z.B. Python)

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungen (VO) sind interaktiv gestaltet. Die Vorlesungen werden durch einprägsame multimediale Darstellungen und teilweise durch aus der Praxis kommende Beispiele sehr anschaulich gestaltet. Theoretische Darlegungen werden von Anwendungen aus der Praxis begleitet. Die in den Vorlesungen vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE) anhand von Beispielen weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE) bilden. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

4,0/3,0 VO Numerical Computation

1,5/1,0 UE Numerical Computation

# Numerical Partial Differential Equations

**Regelarbeitsaufwand:** 7,0 ECTS

## Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden problemspezifische mathematische Lösungen von Anwendungsproblemen und numerische und theoretische Lösungen von partiellen Differentialgleichungen erstellen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen Studierende über Lösungskompetenz von Problemstellungen aus numerischen partiellen Differentialgleichungen; (2) können sie Lösungen praktisch auswerten und analysieren; (3) sind sie in der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (4) können sie Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der numerischen partiellen Differentialgleichungen zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in der Numerik für partielle Differentialgleichungen und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

## Inhalt:

- Numerische Lösung von partiellen Differentialgleichungen
- Finite Elemente und/oder Finite Differenzen Methode
- Implementierungsaspekte von Finiten Elementen

## Erwartete Vorkenntnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlagen der partiellen Differentialgleichungen, Vektoranalysis, gewöhnliche Differentialgleichungen, numerische Lösung linearer und nichtlinearer Gleichungen und numerische Differentiation und Integration.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungen (VO) sind interaktiv gestaltet. Die Vorlesungen werden durch einprägsame

multimediale Darstellungen und teilweise durch aus der Praxis kommende Beispiele sehr anschaulich gestaltet. Theoretische Darlegungen werden von Anwendungen aus der Praxis begleitet. Die in den Vorlesungen vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE) anhand von Beispielen weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE) bilden. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

4,0/3,0 VO Numerical Methods for PDEs

3,0/2,0 UE Numerical Methods for PDEs

## **Parallel Computing**

**Regelarbeitsaufwand:** 12,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierende in der Lage geeignete Rechner auszuwählen, um Algorithmen und Vorgänge im Bereich wissenschaftliches Rechnen konkret umzusetzen, solche Lösungen zu analysieren und zu beurteilen wie auch im Hinblick auf der erzielten Leistung, Vor- und Nachteile von algorithmischen Vorgängen zu evaluieren und mit Hilfe gängiger Werkzeuge und Schnittstellen passende Ansätze zu finden.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Absolvent\_innen des Moduls: (1) haben konkrete Fähigkeiten in der Implementierung von komplexeren Algorithmen auf Parallelrechner unterschiedlicher Bauart mittels gängiger Schnittstellen wie C/C++ threads, OpenMP und MPI; (2) können Lösungen praktisch auswerten und analysieren; (3) sind in der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (4) können Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich des parallelen Hochleistungs-Rechnens zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in Bereich des parallelen Rechnens und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:**

- Merkmale von Parallelrechnern: Mehrkernsysteme, Speicherhierarchien, atomische Instruktionen, Kommunikation in Netzwerke
- Schnittstellen für Parallelrechner: Threadprogrammierung, OpenMP, MPI
- Weiterführende C/C++ Programmierung
- Python/Julia für wissenschaftliches Rechnen
- Algorithmen für Kommunikationsoperationen, fundamentale untere Schranken
- Werkzeuge und Bibliotheken für Hochleistungsrechner
- Grundlagen der Leistungsanalyse für Parallelrechner (Roofline, Performance Models)
- Lock- und Waitfree Datenstrukturen und Algorithmen für Mehrkernrechner

**Erwartete Vorkenntnisse:** Keine.

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlegende Kenntnisse in: (1) Programmieren (z.B. C/C++, Python), (2) Computerarchitekturen und (3) Algorithmen und Datenstrukturen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Grundverständnis von Computersystemen

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Analytisches Denkvermögen

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VUs vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VUs anhand von Beispielen aus der Ingenieurspraxis und aus der Forschung weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt laufend anhand von Übungs- und Projektarbeiten, und in abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

4,5/3,0 VU High Performance Computing

4,5/3,0 VU Advanced Multiprocessor Programming

3,0/2,0 VU Computational Science on Many-Core Architectures

## Programming

**Regelarbeitsaufwand:** 5,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierende in der Lage die geeignete Implementierungsmethode basierend auf Python und C++ auszuwählen um Algorithmen und Vorgänge im Bereich wissenschaftliches Rechnen konkret umzusetzen, solche Lösungen zu analysieren und zu beurteilen wie auch im Hinblick auf die erzielte Leistung Vor- und Nachteile von algorithmischen Vorgängen zu evaluieren und mit Hilfe gängiger Werkzeuge und Schnittstellen passende Ansätze zu finden.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) haben die Studierenden konkrete Fähigkeiten in der Implementierung von komplexen C++- und Python-Programmen für Problemstellungen aus dem wissenschaftlichen Rechnen; (2) können sie Lösungen praktisch auswerten und analysieren; (3) sind sie der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (4) können sie Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich des Programmierens für wissenschaftliches Rechnen zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen im Bereich wissenschaftliche Programmierung und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

#### **Inhalt:**

- grundlegende Programmierkonzepte
- Programmierstile
- Standard-Bibliotheken
- objektorientiertes Programmieren
- Design Patterns
- Leistungsaspekte
- externe Softwarepakete relevant für wissenschaftliches Rechnen
- Bibliotheksentwicklung
- Schnittstellen zu anderen Programmiersprachen

#### **Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlegende Kenntnisse in Programmieren (z.B. C/C++, Python)

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Grundverständnis von Programmierung

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Analytisches Denkvermögen

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

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

Die Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Die Lehrveranstaltungen setzen grundlegende Kenntnisse in übliche Programmiersprachen voraus. Darauf aufbauend wird zu Beginn zügig in die Programmiersprachen C++ und Python eingeführt um eine gleiche Basis zu schaffen. Der Hauptteil konzentriert sich auf fortgeschrittene Techniken und Konzepte in C++ und Python mit einem Fokus auf Anwendungen für wissenschaftliches Rechnen. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VUs vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen



der VUs anhand von Beispielen aus der Ingenieurspraxis und aus der Forschung weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt laufend anhand von Übungs- und Projektarbeiten, und in abschließenden mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

#### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VU Advanced Programming with C++

2,0/1,0 VU Scientific Programming with Python

## **Scientific Computing**

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

#### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierende in der Lage: (1) die verschiedenen Einsatzbereiche von wissenschaftlichem Rechnen und die potenziell vorhandenen ethischen Aspekte wie auch die Rolle innerhalb der Digitalisierung einschätzen zu können; (2) grundlegende Methoden des wissenschaftlichen Rechnens auswählen und anwenden zu können; (3) die Herausforderungen hinsichtlich Rechenzeit und Implementierungsaufwand einschätzen zu können.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen die Studierenden über Lösungskompetenz für interdisziplinäre Probleme; (2) können sie Lösungen praktisch auswerten und analysieren; (3) sind sie in der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (4) können sie Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich des wissenschaftlichen Rechnens zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

#### **Inhalt:**

- Überblicke über die verschiedenen Bereiche von Computational Science and Engineering (inklusive ethische Aspekte und Digitalisierung)
- Software Engineering (zB. Versionskontrolle, Compiler und Kompiliersysteme, Debugging, Programmierspracheninterfaces, Softwarelizenzen)
- Grundlagen des parallelen Rechnens (shared-/distributed-memory), Leistungs-Optimierung und Software-Entwicklung

- Finite-Differenzen/-Volumen/-Elemente-Diskretisierung
- Zeit-Diskretisierungen
- Grundlegende Gleichungslöser
- Gittererzeugung
- Monte-Carlo-Verfahren

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlegende Kenntnisse in angewandter Mathematik (Lineare Algebra, Eigenwertprobleme, Differential- und Integralrechnung in einer und mehreren Variablen), gewöhnliche Differentialgleichungen

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesung (VO) und Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VUs vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VUs anhand von Beispielen aus der Ingenieurspraxis und aus der Forschung weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt bei den VUs laufend anhand von Übungs- und Projektarbeiten, und (wie auch bei der VO) in abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VO Introduction to Computational Science and Engineering

6,0/3,0 VU Numerical Simulation and Scientific Computing I

6,0/3,0 VU Numerical Simulation and Scientific Computing II

## Computational Building Science

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) die wichtigsten Komponenten des komplexen System der gebauten Umwelt zu beschreiben und wesentliche Zusammenhänge zu formulieren und zu berechnen; (2) auf Basis der Aufgabenstellung und des gemessenen Verhaltens von Teilen des Gesamtsystems Modelle für Personen, Bauteile, Gebäude, Mobilitätssysteme und der Infrastruktur zu formulieren und geeignete numerische Algorithmen zur Prognose der Systemperformance (Lärmimmissionen, Komfort, Stofftransport, Versagensrisiko, Ressourcen- und Energiehaushalt) zu entwickeln; (3) numerische Algorithmen

zur Simulation des Modelverhaltens auszuwählen, Validierungsmethoden und Visualisierungsmethoden zu benutzen; (4) forschungsrelevante Themen zu identifizieren und zu erarbeiten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden: (1) die Anwendbarkeit von verschiedenen Berechnungsmethoden auf ein bestimmtes Problem im Bauingenieurwesen bewerten; (2) die richtige Methode für einen bestimmten Problemtyp und eine bestimmte Größe unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen wählen; (3) die geeigneten Software-Werkzeuge auswählen; (4) den Entwicklungs- und Validierungsprozess von Computersystemen für die Verwendung im Bauingenieurwesen planen; (5) Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im rechenintensiven Computersimulationsbereich des Bauingenieurwesens zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme und Simulationen zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Performance Kenngrößen und Modelle für Teilsysteme (Bevölkerung/Personen, Bauteile, Gebäude, Mobilitäts- und Energiesystem)
- Methoden zur Identifikation unbekannter Parameter
- Numerische Methoden zur Berechnung und Simulation von Modellen der gebauten Umwelt
- Einsatz von Datenbanken für Monitoring- und Prognoseergebnissen
- Visualisierungstechniken von Prognoseergebnissen zur Entscheidungsunterstützung

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Allgemeinbildung in Physik (Mechanik, Thermodynamik, Optik, Elektrizitätslehre; Erhaltungssätze und Feldkonzepte; Materialwissenschaft) und Allgemeinbildung in angewandter Mathematik und einfache Differentialgleichungen lösen können; ab 2. Sem stochastische Differentialgleichungen, Systeme gewöhnlicher Differentialgleichungen und partielle Differentialgleichungen numerisch lösen können, einfache Fälle zur Validierung numerischer Verfahren auch analytisch lösen können, ab 3. Sem Systeme steifer DGL und gekoppelte partielle Differentialgleichungen numerisch lösen können

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Ab 2. Sem Programmiersprache wie C++/Python; ab 3. Sem: Programmieretechniken kennen (Arbeiten mit Repositories, Dokumentation, Qualitätssicherung von Softwareentwicklungen); Entwicklung und Aufbau von Datenbanken und deren Abfrage durch C++ oder Python Programme.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Ab 3. Sem Persönliches Zeitmanagement zur Einhaltung von Deadlines.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Neben einführenden und vertiefenden Vorträgen werden Einzel- oder Kleingruppenarbeiten und Übungsbeispiele verwendet um die Lernziele zu erreichen. Selbständige Recherche und das Verfassen von Seminararbeiten, Technischen Berichten, Anforderungs- und Softwaredokumentationen im Rahmen von kleinen Projekten bereiten auf den beruflichen Einsatz vor. Die Leistungsbeurteilungen erfolgen schriftlich durch die Lösung von Aufgabenstellungen und Beantworten von Fragen zum Hintergrundwissen und im Zuge einer Beobachtung von simulierten Software-Teammeetings.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Verpflichtend:

3,0/2,0 VU Foundations of Building Science

2,0/1,0 VU Introduction to Digital Twins for Buildings and Cities

3,0/2,0 VU Advanced Numerical Methods in Building Science 1

3,5/1,0 SE Advanced Visualization and Numerical Methods in City Science

Optional:

3,0/2,0 VO Multiscale Material Modelling

2,0/2,0 UE Multiscale Material Modelling

1,5/1,0 VO Modelling and Simulation in Water Resource Systems

2,0/2,0 UE Modelling and Simulation in Water Resource Systems

3,5/3,0 VU Advanced Numerical Methods in Building Science 2

3,0/2,0 VO Engineering Biochemoporomechanics

1,0/1,0 VU Data Management

Zusätzlich zu den 11.5 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 3.5 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul.

## **Computational Chemistry and Materials Science**

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) grundlegende Quantenmechanik und Festkörperphysik in der Materialwissenschaft zu erklären; (2) einem technischen Publikum die Grundlagen der computergestützten Materialwissenschaft zu beschreiben; (3) forschungsrelevante Themen zu identifizieren und zu erarbeiten; (4) die Fähigkeiten, Anwendungsbereiche

und Einschränkungen der wichtigsten Computertechniken in der Chemie und Materialwissenschaft zu benennen; (5) die Techniken zu beschreiben, die zur Implementierung dieser Methoden auf parallelen Architekturen erforderlich sind; (6) sowie deren Skalierungsprobleme zu vergleichen, die sich aus Modellen der Materie ergeben, die auf verschiedenen Entitäten basieren: Elektronen, Atome und Moleküle.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden: (1) die Anwendbarkeit atomistischer Berechnungen auf ein bestimmtes Problem bewerten; (2) vollständige Strategien erarbeiten, um Eigenschaften von Materie anhand ihrer atomistischen Beschreibung vorherzusagen; (3) die richtige Methode für einen bestimmten Problemtyp und eine bestimmte Größe unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen wählen; (4) Arbeitsabläufe entwerfen, die atomistische Berechnungen in die Lösung von Problemen mit mehreren Maßstäben integrieren; (5) die geeigneten Tools aus den vorhandenen Open Source- und proprietären Ökosystemen auswählen; (6) neue domänenspezifische Software-Werkzeuge implementieren oder die Leistung bestehender Lösungen verbessern; (7) chemische Berechnungen planen und durchführen und ihre Ergebnisse auswerten; (8) Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im rechenintensiven Computersimulationsbereich der Chemie und Materialwissenschaften zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme und Simulationen zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Atomistische Beschreibung der Materie
- Grundlagen der Quantentheorie – Schrödinger Gleichung
- Dichtefunktionaltheorie
- Molekulardynamik
- Wannier Funktionen und Gittermodelle
- Berechnungen mit vielen Körpern (Exakte Diagonalisierung von schwachbesetzten Matrizen, Monte Carlo Methoden)
- Parallelisierung von Elektronenstruktur-Berechnungen
- Evaluierung von Materialeigenschaften (thermodynamisch, magnetisch, Transport, optisch, mechanisch)

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlagen der atomistischen Beschreibung

von Materie und der Chemie.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Das Modul kombiniert Vorlesungen (VO) und Vorlesungen mit Übungen (VU) mit projektbezogenen Kursen (PR) mit Forschungscharakter in Eigenverantwortung und in der Gruppe. Die Vorlesungen (VO) bzw. Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis und Forschung kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Dabei wird insbesondere zu Beginn sehr großer Wert auf das grundlegende physikalische Verständnis gelegt, bevor die numerischen Simulationsverfahren besprochen werden. Die in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Ingenieurpraxis und aus der Forschung weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt. Die Leistungsbeurteilung bei VU erfolgt auf Basis schriftlicher Tests, von Übungen bzw. eines einzelnen Prüfungsakts am Ende des Semesters. Die Beurteilung der Praktika (PR) erfolgt durch Bewertung schriftliche Protokolle mit Programmcode.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Verpflichtend:

3,0/2,0 VU Introduction to Atomistic Calculations

3,0/2,0 VU Concepts in Condensed Matter Physics

Optional:

3,0/2,0 VO Theoretical Molecular Chemistry

3,0/2,0 VU Computational Materials Science

3,0/2,0 VO Physical and Theoretical Solid State Chemistry

3,0/2,0 VU Simulations of Solids

3,0/3,0 PR Selected Topics in Theoretical Chemistry

3,0/3,0 PR Selected Topics in Materials Science

Zusätzlich zu den 6 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 9 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungs-Katalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul.

## **Computational Electronics**

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind

die Studierenden in der Lage: (1) grundlegende Halbleiterphysik und Halbleiterbauelemente und Fertigungsprozesse wie auch Sensoren und Mikrosystemen zu erklären; (2) verschiedene Modellierungsmethoden (z.B. Diskretisierungen und Multiphysik) auf Probleme in der Elektronik anzuwenden; (3) kritischen Herausforderungen in der computergestützten Hochleistungs-Simulation von elektronischen Bauelementen entgegenzutreten; (4) einem technischen Publikum die Grundlagen der computergestützten Elektronik zu beschreiben; (5) forschungsrelevante Themen zu identifizieren und zu erarbeiten; (6) die Fähigkeiten, Anwendungsbereiche und Einschränkungen der wichtigsten Computertechniken in der Elektronik zu benennen; (7) die Techniken zu beschreiben, die zur Implementierung dieser Methoden auf parallelen Architekturen erforderlich sind; (8) sowie deren Skalierungsprobleme zu vergleichen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden: (1) die Anwendbarkeit von verschiedenen Berechnungsmethoden auf ein bestimmtes Problem in der Elektronik bewerten; (2) vollständige Strategien erarbeiten, um Auswirkungen von Geometrien, Materialien, und physikalischen Prozessen vorherzusagen; (3) die richtige Methode für einen bestimmten Problemtyp und eine bestimmte Größe unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen wählen; (4) die geeigneten Software-Werkzeuge aus den vorhandenen Open Source- und proprietären Ökosystemen auswählen; (5) neue domänenspezifische Tools implementieren oder die Leistung bestehender Lösungen verbessern; (6) Simulations-Experimente in der Elektronik planen und durchführen und ihre Ergebnisse auswerten; (7) Entwicklungen voranzutreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch zu evaluieren und zu berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im rechenintensiven Computersimulationsbereich der Elektronik zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme und Simulationen zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Grundlagen der Halbleiterphysik und –bauelemente
- Modellierung und Simulation von Fertigungstechniken, Sensoren und Mikrosysteme
- Finite Elemente und Volumen
- Multiphysik
- Berechnungsaspekte

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlagen der Physik auf Maturaniveau oder

gleichwertig (zB. Elektrizität)

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Das Modul kombiniert Vorlesungen (VO) und Vorlesungen mit Übungen (VU) mit projektbezogenen Kursen (PR) und Seminaren (SE) mit Forschungscharakter in Eigenverantwortung und in der Gruppe. Die Vorlesungen (VO) bzw. Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis und Forschung kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Dabei wird insbesondere zu Beginn sehr großer Wert auf das grundlegende physikalische Verständnis gelegt, bevor die numerischen Simulationsverfahren besprochen werden. Die in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Ingenieurpraxis und aus der Forschung weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt. Die Leistungsbeurteilung bei VU erfolgt auf Basis schriftlicher Tests, von Übungen bzw. eines einzelnen Prüfungsaktes. Die Beurteilung der Projekte (PR) und der Seminare (SE) erfolgt durch Bewertung schriftlicher Protokolle mit Programmcode bzw. der Seminararbeit.

#### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Verpflichtend:

4,0/3,0 VU Introduction to Semiconductor Physics and Devices

3,0/2,5 VU Introduction to Finite Element Methods in Solid Mechanics

Optional:

4,0/3,0 VU Simulation of Semiconductor Device Fabrication

4,0/4,0 PR Selected Topics - Computational Electronics

4,0/3,0 VU Semiconductor Sensors

1,0/1,0 SE Recent Advances in Computational Electronics

4,0/3,0 VU Finite Element Methods for Multi-Physics I

3,0/2,0 VO Theory, Modelling and Simulation of MEMS and NEMS Devices

5,0/5,0 PR Selected Topics - MEMS and NEMS

Zusätzlich zu den 7 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 8 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungs-Katalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul.



# Computational Fluid Dynamics and Acoustics

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

## **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) die physikalischen Gesetzmäßigkeiten in der Strömungsmechanik, insbesondere der Aerodynamik und der Aeroakustik zu erklären und grundlegende Prinzipien in der Turbulenzmodellierung, deren Gültigkeiten und deren Einschränkungen zu erläutern; (2) alle notwendigen Schritte für eine erfolgreiche numerische Simulation strömungsmechanischer Problemstellungen von der Modellbildung über das Pre-Processing, der eigentlichen numerischen Simulation bis hin zum Post-Processing selbstständig durchzuführen; (3) die numerischen Simulationsergebnisse physikalisch richtig zu interpretieren und auch die richtigen Schritte durchzuführen, damit stabile und qualitative hochwertige Ergebnisse berechnet werden; (4) forschungsrelevante Themen zu identifizieren und zu erarbeiten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Die Studierenden sind in der Lage: (1) numerische Berechnungsverfahren, welche die physikalischen Zusammenhänge Strömungsmechanik und Aeroakustik mathematisch mittels gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen beschreiben, zu implementieren; (2) die mathematisch konsistenten numerischen Algorithmen zur Lösung kompressibler, inkompressibler und reibungsfreier sowie reibungsbehafteter Strömungen auszuwählen und bei der Simulation die jeweils richtigen Anfangs- und Randbedingungen zu setzen; (3) die grundlegenden Konzepte bezüglich Konsistenz, Stabilität und Konvergenz von numerischen Verfahren von partiellen Differentialgleichungen zu erklären; (4) herauszufinden, wie die einzelnen Parameter die Genauigkeit der numerischen Verfahren in Forschungsprogrammen sowie kommerziellen Simulationsprogrammen beeinflussen und so zu wählen, dass der numerische Fehler minimiert wird; (5) Wissenschaftlich / technisch fundierte Berichte zu verfassen, welche die Lösungsmethoden und die erzielten Simulationsergebnisse beschreiben; (6) Entwicklungen voranzutreiben, Anwendungen zu entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch zu evaluieren und zu berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im rechenintensiven Computersimulationsbereich der Fluidodynamik und Akustik zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme und Simulationen zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Fundamentale Konzepte der Strömungsmechanik, Aerodynamik und Akustik
- Grundlegende Gleichungen
- Mathematische Lösungsmethoden der beschreibenden gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen
- Numerischen Verfahren zur Analyse von kompressiblen, inkompressiblen und aeroakustischen Phänomenen
- Komplexe strömungsmechanische Zusammenhänge, wie Laminar-Turbulenz-Übergänge sowie Turbulenzeigenschaften

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Grundlegende Kenntnisse aus dem Bereich der Strömungsmechanik; Kenntnisse aus der Mathematik, insbesondere lineare Algebra; Kenntnisse aus der numerischen Mathematik, insbesondere numerische Integration, Lösung von Anfangs- und Randwertproblemen, Gleichungslöser.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungen (VO) bzw. Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Dabei wird sehr großer Wert auf das physikalische Verständnis gelegt, bevor die numerischen Simulationsverfahren besprochen werden. Falls angebracht, enthalten Vorlesungseinheiten auch einen Laborbesuch, um durch praktische Vorführungen das physikalische Verständnis von strömungsmechanischen Phänomenen zu vertiefen. Die in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE), Übungsteilen der VU, Seminaren (SE) sowie Projektarbeiten (PR) anhand von Beispielen aus der Praxis weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben, welche an aktuellen Forschungsfragen ausgerichtet sein können, entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und in technischen Berichten zusammengefasst, welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE), des Seminars (SE), der Projektarbeit (PR) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für manche VU wird neben der Beurteilung des Übungsteils ein zusätzlicher einzelner Prüfungsakt zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Verpflichtend:

3,0/2,0 VO Numerical Methods for Fluid Mechanics

5,0/3,0 VU Fundamentals in Fluid Mechanics

Optional:

2,0/2,0 SE Seminar on Stability and Pattern Formation

3,0/2,0 UE Calculating Turbulent Flows with CFD-Codes

2,0/2,0 UE Numerical Methods in Fluid Dynamics

3,0/2,0 VO Hydrodynamic Stability and Transition to Turbulence

3,0/2,0 VU Aeroacustics

5,0/3,0 VU Computational Aerodynamics

4,0/4,0 PR Project Study in Fluid Mechanics

Zusätzlich zu den 8 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 7 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungs-Katalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul.

## Computational Informatics

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

### Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden problemspezifische Lösungen für die Analyse großer Daten erarbeiten, performante Algorithmen entwickeln und aktuelle Forschungsfragen identifizieren.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden die Probleme bei der Analyse und Verarbeitung großer Daten identifizieren und problemspezifische effiziente Lösungen erarbeiten.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden in Teams arbeiten und die Ergebnisse ihrer Arbeit adäquat präsentieren.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Datenanalyse
- Datenbanken
- Machine Learning
- Algorithmen
- Parallele Algorithmen
- Optimierungsstrategien

### Erwartete Vorkenntnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* (1) Grundlagen der Mathematik; (2) grundlegende Programmierkenntnisse in einer Programmiersprache (z.B. Python).

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Vorlesungen (VO) werden durch einprägsame multimediale Darstellungen und teilweise durch aus der Praxis kommende Exponate anschaulich gestaltet. Theoretische Darlegungen werden von Anwendungen aus der Praxis begleitet. Die in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der (VU) vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE) bzw. Übungsteilen der (VU) oder anhand von Beispielen weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE), des Seminars (SE) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für Vorlesungsübungen VU kann neben der Beurteilung des Übungsteils ein zusätzlicher einzelner Prüfungsakt zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Untergruppe Data Management:

- 6,0/4,0 VU Advanced Database Systems
- 3,0/2,0 VU Data-Oriented Programming Paradigms
- 3,0/2,0 VU Experiment Design for Data Science
- 3,0/2,0 VO Data Stewardship
- 4,5/3,0 VU Machine Learning
- 3,0/2,0 VU Machine Learning for Health Informatics
- 3,0/2,0 VU Mathematical Programming
- 3,0/2,0 VU Data Intensive Computing
- 3,0/2,0 VU Statistical Simulation and Computer-intensive Methods
- 4,5/3,0 VU Advanced Methods for Regression and Classification

Untergruppe Algorithmics:

- 6,0/4,0 VU Algorithmics
- 3,0/2,0 VU Approximation Algorithms
- 3,0/2,0 VU Complexity Analysis
- 3,0/2,0 VU Efficient Programs
- 3,0/2,0 VU Structural Decompositions and Algorithms
- 3,0/2,0 VU Heuristic Optimization Techniques
- 6,0/4,0 VU GPU Architectures and Computing
- 3,0/2,0 VU Parallel Algorithms
- 3,0/2,0 VU Nonlinear Optimization

Das Modul besteht aus 2 Untergruppen; aus jeder Untergruppe sind Lehrveranstaltungen im Ausmaß von mindesten 5 ECTS, insgesamt mindestens 15 ECTS zu absolvieren.

# Computational Mathematics

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

## Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden problemspezifische mathematische Lösungen von Anwendungsproblemen erstellen. Aktuelle Forschungsfragen können identifiziert und erarbeitet werden.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Absolvent\_innen des Moduls: (1) verfügen über Lösungskompetenz von Problemstellungen aus der rechenintensiven Mathematik; (2) können Lösungen praktisch auswerten und analysieren; (3) sind in der Lage, rechenintensive Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (4) können Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen in rechenintensiven Bereichen der Mathematik zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme und Simulationen zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Numerische Behandlung von (zeitabhängigen) partiellen Differentialgleichungen
- Nichtstationäre Probleme
- Finite Elemente Methode
- Iterative Lösung von großen Gleichungssystemen
- Modellierung mit partiellen Differentialgleichungen
- Optimierung mit partiellen Differentialgleichungen
- Computergestützte Finanzwissenschaften

## Erwartete Vorkenntnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* (1) Grundlagen der linearen Algebra (z.B. rechnen mit Matrizen und Vektoren, Determinante von Matrizen); (2) grundlegende Programmierkenntnisse in einer Programmiersprache (z.B. Python).

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungen (VO) bzw. Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Die Vorlesungen werden durch einprägsame multimediale Darstellungen und teilweise durch aus der Praxis kommende Exponate sehr anschaulich gestaltet. Theoretische Darlegungen werden von Anwendungen aus der Praxis und aus aktuellen Forschungen begleitet. Die in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der (VU) vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE) bzw. Übungsteilen der (VU) oder in Seminaren (SE) anhand von Beispielen weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE), des Seminars (SE) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für manche (VU) wird neben der Beurteilung des Übungsteils ein zusätzlicher einzelner Prüfungsakt zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

- 3,5/2,0 VU Optimization with PDE Constraints
- 4,5/3,0 VO Modelling with Partial Differential Equations
- 1,5/1,0 UE Modelling with Partial Differential Equations
- 4,5/3,0 VO Numerics of Partial Differential Equations: Instationary Problems
- 1,5/1,0 UE Numerics of Partial Differential Equations: Instationary Problems
- 3,0/2,0 SE Computational Mathematics
- 4,5/3,0 VO AKNUM Iterative Solution of Large Systems of Equations
- 1,5/1,0 UE AKNUM Iterative Solution of Large Systems of Equations
- 4,5/3,0 VO AKFVM-AKNUM Computational Finance
- 3,0/2,0 UE AKFVM-AKNUM Computational Finance
- 4,5/3,0 VU AKNUM Finite Element Methods in Technical Applications

Dieses Modul enthält keine verpflichtenden Lehrveranstaltungen. Demnach müssen 15 ECTS aus dem obigen Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden.

## **Computational Mechatronics**

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) die physikalischen Grundlagen mechanischer, elektromagnetischer, strömungsmechanischer, thermischer und akustischer Feldern sowie deren Kopplungen zu erklären; (2) die Methode der Finiten Elemente mathematisch zu formulieren und in einem Programm zu implementieren; (3) alle notwendigen Schritte für eine erfolgreiche Finite Elemente-Analyse von der Modellbildung über das Pre-Processing, der eigentlichen Finite Elemente-Simulation bis hin zum Post-Processing selbstständig

durchzuführen; (4) die Finite Elemente-Simulationsergebnisse physikalisch richtig zu interpretieren, um bei der Verbesserung bestehender und der Entwicklung neuer mechatronischer Systeme die richtigen Schritte zu setzen; (5) forschungsrelevante Themen zu identifizieren und zu erarbeiten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Die Studierenden sind in der Lage: (1) numerische Lösungsstrategien für gekoppelten Feldproblemen zu implementieren und zu validieren; (2) die angewandten Lösungsstrategien und erzielten Ergebnisse in einem technischen Bericht zu dokumentieren und zu präsentieren; (3) aus Finite Elemente-Simulationsergebnissen entsprechende Schritte zur Produktverbesserung abzuleiten; (4) Entwicklungen voranzutreiben, Anwendungen zu entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch zu evaluieren und zu berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im rechenintensiven Computersimulationsbereich der Mechatronik zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme und Simulationen zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Grundlagen von mechanischen, elektromagnetischen, strömungsmechanischen, thermischen und akustischen Feldern sowie deren Kopplungen
- Physikalische und mathematische Modellierung und numerische Simulation mittels der Finiten Elemente-Methode
- Gekoppelte Feldprobleme (Multiphysik)
- Simulationen von typischen mechatronischen Systemen (z.B. elektromagnetische Schienenbremse, Akustik von Klimaanlage, piezoelektrische MEMS-Lautsprecher, MEMS und NEMS Druck- und Viskositätssensoren sowie Mikrofone, elektromagnetische Induktionssysteme für Stahlbanderwärmung in Produktionssystemen, etc.)

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* (1) Kenntnisse aus der Mechanik und Elektrotechnik, insbesondere Kontinuumsmechanik und elektromagnetische Felder; (2) Kenntnisse aus der Mathematik, insbesondere lineare Algebra; (3) Kenntnisse aus der numerischen Mathematik, insbesondere numerische Integration, Lösung von Anfangs- und Randwertproblemen, Gleichungslöser.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungen (VO) bzw. Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen sehr anschaulich gestaltet. Dabei wird sehr großer Wert auf das physikalische Verständnis gelegt, bevor die numerischen Simulationsverfahren besprochen werden. Falls angebracht, enthalten Vorlesungseinheiten auch einen Laborbesuch, um durch praktische Vorführungen das physikalische Verständnis von mechatronischen Systemen zu vertiefen. Die in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE) bzw. Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Ingenieurspraxis und aus der Forschung weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen sowie im Seminar erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und in technischen Berichten zusammengefasst, welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE), des Seminars (SE) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für manche VU wird neben der Beurteilung des Übungsteils ein zusätzlicher einzelner Prüfungsakt zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Verpflichtend:

4,0/3,0 VU Finite Element Methods for Multi-Physics I

3,0/2,0 VO Finite Element Methods for Multi-Physics II

Optional:

2,0/2,0 UE Finite Element Methods for Multi-Physics II

3,0/2,0 VU Nanoelectromechanical Systems

3,0/2,0 SE Seminar Mechatronic Systems

3,0/2,0 VO Theory, Modelling and Simulation of MEMS and NEMS Devices

4,0/3,0 VU Computational Methods in Structural Mechanics

4,0/3,0 VU Implementation of a Finite Element Program

Zusätzlich zu den 7 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 8 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul.

## **Computational Solid Mechanics**

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach Absolvierung des Moduls sind Studierende in der Lage: (1) den theoretischen Hintergrund der Finiten Elemente Methode zu



erklären; (2) die in dem gewählten Schwerpunkt vermittelten theoretischen Grundlagen sowie vermittelte Konzepte/Methoden zu erklären und zur Lösung konkreter Problemstellungen anzuwenden; (3) alle notwendigen Schritte einer Finite Elemente Analyse von der Modellbildung, über die eigentliche Finite Elemente Analyse, bis hin zur Ergebnisauswertung durchzuführen; (4) Finite Elemente Routinen zu Erweiterung von vorhandenen Finite Elemente Programmen in einer entsprechenden Programmiersprache zu implementieren; (5) forschungsrelevante Themen zu identifizieren und zu erarbeiten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Die Studierenden sind in der Lage: (1) die Ergebnisse einer Finiten-Elemente-Analyse entsprechend zu interpretieren und wenn notwendig Modellmodifikationen vorzunehmen; (2) die angewandte Lösungsstrategie und die erzielten Ergebnisse in einem technischen Bericht zusammenzufassen und entsprechend zu dokumentieren; (3) die von Ihnen gewählten Lösungsstrategien zu präsentieren und zu begründen; (4) eine implementierte Routine zu validieren und die Implementierung zu dokumentieren; (5) Entwicklungen voranzutreiben, Anwendungen zu entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch zu evaluieren und zu berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im rechenintensiven Computersimulationsbereich der Festkörpermechanik zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Computerprogramme und Simulationen zu erstellen; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Grundlagen der Festkörpermechanik
- Einfache Materialgesetze
- Finite Elemente Methode: Grundlagen, Analyse, Implementierungen, Pre- und Post-Processing
- Modellbildung und Interpretation von Ergebnissen
- Gekoppelte Feldprobleme (Multiphysik): z.B.: Wärmeleitung-Mechanik, etc.
- Materialmodellierung: z.B.: Plastizität, Schädigung, Composites
- Nichtlineare Finite Elemente Methoden: z.B.: geometrische und materielle Nichtlinearitäten, strukturelle Stabilität
- Isogeometric Analysis, z.B. Geometriedarstellung, nichtpolynomiale Interpolationsfunktion, Lösungsverfahren für isogeometrische Finite Elemente, isogeometrische Analysen auf realen CAD Geometrien

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Kenntnisse aus: (1) Mechanik (insbesondere Festigkeitslehre, Kontinuumsmechanik, Dynamik); (2) Mathematik (insbesondere lineare

Algebra); (3) grundlegenden numerischer Methoden (insbesondere numerische Integration, Lösung von Anfangs- und Randwertproblemen, Gleichungslöser)

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE) bzw. Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Ingenieurpraxis und aus der Forschung weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für manche VU wird neben der Beurteilung des Übungsteils ein zusätzlicher einzelner Prüfungsakt zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Die Leistungsbeurteilung der Vorlesungen (VO) erfolgt durch einen einzelnen Prüfungsakt.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Verpflichtend:

3,0/2,5 VU Introduction to Finite Element Methods in Solid Mechanics

4,0/3,0 VU Implementation of a Finite Element Program

Optional:

4,0/3,0 VU Composites Engineering

4,0/3,0 VU Finite Element Methods for Multi-Physics I

3,0/2,0 VO Finite Element Methods for Multi-Physics II

2,0/2,0 UE Finite Element Methods for Multi-Physics II

2,0/2,0 UE Design of Composite Structures

3,0/2,0 VO Advanced Material Models for Structural Analysis

5,0/4,0 VU Isogeometric Analysis

3,0/2,0 VO Nonlinear Finite Element Methods

2,0/2,0 UE Nonlinear Finite Element Methods

Zusätzlich zu den 7 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 8 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul.

## **Freie Wahlfächer und Transferable Skills**

**Regelarbeitsaufwand:** 10,0 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 zentralen Wahlfachkatalog der TU Wien für „Transferable Skills“ empfohlen.

## 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)**

3,0 VO Introduction to Computational Science and Engineering  
6,0 VU Numerical Simulation and Scientific Computing I  
2,0 VU Scientific Programming with Python  
5,5 VU Foundations of Applied Mathematics  
4,0 VO Numerical Computation  
1,5 UE Numerical Computation

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

4,5 VU Advanced Multiprocessor Programming  
6,0 VU Numerical Simulation and Scientific Computing II  
4,0 VO Numerical Methods for PDEs  
3,0 UE Numerical Methods for PDEs

### **3. Semester (WS)**

3,0 VU Computational Science on Many-Core Architectures  
4,5 VU High Performance Computing  
3,0 VU Advanced Programming with C++

Es gilt zu beachten, dass bereits ab dem ersten Semester Lehrveranstaltungen der Schlüsselbereiche zu absolvieren sind.

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

Auf Grund des aufbauenden Charakters der Pflichtlehrveranstaltungen können im ersten Semester nur Lehrveranstaltungen absolviert werden, für welche die Studierenden bereits die notwendigen Vorkenntnisse besitzen, insbesondere die Lehrveranstaltungen aus dem Prüfungsfach *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* sowie Lehrveranstaltungen aus bestimmten Schlüsselbereichen.

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

### **Prüfungsfach „Computer Science“ (17,0 ECTS)**

#### **Modul „Parallel Computing“ (12,0 ECTS)**

4,5/3,0 VU High Performance Computing  
4,5/3,0 VU Advanced Multiprocessor Programming  
3,0/2,0 VU Computational Science on Many-Core Architectures

#### **Modul „Programming“ (5,0 ECTS)**

3,0/2,0 VU Advanced Programming with C++  
2,0/1,0 VU Scientific Programming with Python

### **Prüfungsfach „Scientific Computing“ (15,0 ECTS)**

#### **Modul „Scientific Computing“ (15,0 ECTS)**

3,0/2,0 VO Introduction to Computational Science and Engineering  
6,0/3,0 VU Numerical Simulation and Scientific Computing I  
6,0/3,0 VU Numerical Simulation and Scientific Computing II

### **Prüfungsfach „Applied Mathematics“ (18,0 ECTS)**

#### **Modul „Applied Mathematics Foundations “ (5,5 ECTS)**

5,5/4,0 VU Foundations of Applied Mathematics

#### **Modul „Numerical Computation “ (5,5 ECTS)**

4,0/3,0 VO Numerical Computation  
1,5/1,0 UE Numerical Computation

#### **Modul „Numerical Partial Differential Equations“ (7,0 ECTS)**

4,0/3,0 VO Numerical Methods for PDEs  
3,0/2,0 UE Numerical Methods for PDEs

### **Prüfungsfach „Computational Building Science“ (15,0 ECTS)**

#### **Modul „Computational Building Science“ (15,0 ECTS)**

3,0/2,0 VU Foundations of Building Science  
2,0/1,0 VU Introduction to Digital Twins for Buildings and Cities  
3,0/2,0 VU Advanced Numerical Methods in Building Science 1  
3,5/1,0 SE Advanced Visualization and Numerical Methods in City Science

3,0/2,0 VO Multiscale Material Modelling  
2,0/2,0 UE Multiscale Material Modelling  
1,5/1,0 VO Modelling and Simulation in Water Resource Systems  
2,0/2,0 UE Modelling and Simulation in Water Resource Systems  
3,5/3,0 VU Advanced Numerical Methods in Building Science 2  
3,0/2,0 VO Engineering Biochemoporomechanics  
1,0/1,0 VU Data Management

## **Prüfungsfach „Computational Chemistry and Materials Science“ (15,0 ECTS)**

### **Modul „Computational Chemistry and Materials Science“ (15,0 ECTS)**

3,0/2,0 VU Introduction to Atomistic Calculations  
3,0/2,0 VU Concepts in Condensed Matter Physics  
3,0/2,0 VO Theoretical Molecular Chemistry  
3,0/2,0 VU Computational Materials Science  
3,0/2,0 VO Physical and Theoretical Solid State Chemistry  
3,0/2,0 VU Simulations of Solids  
3,0/3,0 PR Selected Topics in Theoretical Chemistry  
3,0/3,0 PR Selected Topics in Materials Science

## **Prüfungsfach „Computational Electronics“ (15,0 ECTS)**

### **Modul „Computational Electronics“ (15,0 ECTS)**

4,0/3,0 VU Introduction to Semiconductor Physics and Devices  
3,0/2,5 VU Introduction to Finite Element Methods in Solid Mechanics  
4,0/3,0 VU Simulation of Semiconductor Device Fabrication  
4,0/4,0 PR Selected Topics - Computational Electronics  
4,0/3,0 VU Semiconductor Sensors  
1,0/1,0 SE Recent Advances in Computational Electronics  
4,0/3,0 VU Finite Element Methods for Multi-Physics I  
3,0/2,0 VO Theory, Modelling and Simulation of MEMS and NEMS Devices  
5,0/5,0 PR Selected Topics - MEMS and NEMS

## **Prüfungsfach „Computational Fluid Dynamics and Acoustics“ (15,0 ECTS)**

### **Modul „Computational Fluid Dynamics and Acoustics“ (15,0 ECTS)**

3,0/2,0 VO Numerical Methods for Fluid Mechanics  
5,0/3,0 VU Fundamentals in Fluid Mechanics  
2,0/2,0 SE Seminar on Stability and Pattern Formation



3,0/2,0 UE Calculating Turbulent Flows with CFD-Codes  
2,0/2,0 UE Numerical Methods in Fluid Dynamics  
3,0/2,0 VO Hydrodynamic Stability and Transition to Turbulence  
3,0/2,0 VU Aeroacoustics  
5,0/3,0 VU Computational Aerodynamics  
4,0/4,0 PR Project Study in Fluid Mechanics

## **Prüfungsfach „Computational Informatics“ (15,0 ECTS)**

### **Modul „Computational Informatics“ (15,0 ECTS)**

6,0/4,0 VU Advanced Database Systems  
3,0/2,0 VU Data-Oriented Programming Paradigms  
3,0/2,0 VU Experiment Design for Data Science  
3,0/2,0 VO Data Stewardship  
4,5/3,0 VU Machine Learning  
3,0/2,0 VU Machine Learning for Health Informatics  
3,0/2,0 VU Mathematical Programming  
3,0/2,0 VU Data Intensive Computing  
3,0/2,0 VU Statistical Simulation and Computer-intensive Methods  
4,5/3,0 VU Advanced Methods for Regression and Classification  
6,0/4,0 VU Algorithmics  
3,0/2,0 VU Approximation Algorithms  
3,0/2,0 VU Complexity Analysis  
3,0/2,0 VU Efficient Programs  
3,0/2,0 VU Structural Decompositions and Algorithms  
3,0/2,0 VU Heuristic Optimization Techniques  
6,0/4,0 VU GPU Architectures and Computing  
3,0/2,0 VU Parallel Algorithms  
3,0/2,0 VU Nonlinear Optimization

## **Prüfungsfach „Computational Mathematics“ (15,0 ECTS)**

### **Modul „Computational Mathematics“ (15,0 ECTS)**

3,5/2,0 VU Optimization with PDE Constraints  
4,5/3,0 VO Modelling with Partial Differential Equations  
1,5/1,0 UE Modelling with Partial Differential Equations  
4,5/3,0 VO Numerics of Partial Differential Equations: Instationary Problems  
1,5/1,0 UE Numerics of Partial Differential Equations: Instationary Problems  
3,0/2,0 SE Computational Mathematics  
4,5/3,0 VO AKNUM Iterative Solution of Large Systems of Equations  
1,5/1,0 UE AKNUM Iterative Solution of Large Systems of Equations  
4,5/3,0 VO AKFVM-AKNUM Computational Finance

3,0/2,0 UE AKFVM-AKNUM Computational Finance  
4,5/3,0 VU AKNUM Finite Element Methods in Technical Applications

## **Prüfungsfach „Computational Mechatronics“ (15,0 ECTS)**

### **Modul „Computational Mechatronics“ (15,0 ECTS)**

4,0/3,0 VU Finite Element Methods for Multi-Physics I  
3,0/2,0 VO Finite Element Methods for Multi-Physics II  
2,0/2,0 UE Finite Element Methods for Multi-Physics II  
3,0/2,0 VU Nanoelectromechanical Systems  
3,0/2,0 SE Seminar Mechatronic Systems  
3,0/2,0 VO Theory, Modelling and Simulation of MEMS and NEMS Devices  
4,0/3,0 VU Computational Methods in Structural Mechanics  
4,0/3,0 VU Implementation of a Finite Element Program

## **Prüfungsfach „Computational Solid Mechanics“ (15,0 ECTS)**

### **Modul „Computational Solid Mechanics“ (15,0 ECTS)**

3,0/2,5 VU Introduction to Finite Element Methods in Solid Mechanics  
4,0/3,0 VU Implementation of a Finite Element Program  
4,0/3,0 VU Composites Engineering  
4,0/3,0 VU Finite Element Methods for Multi-Physics I  
3,0/2,0 VO Finite Element Methods for Multi-Physics II  
2,0/2,0 UE Finite Element Methods for Multi-Physics II  
2,0/2,0 UE Design of Composite Structures  
3,0/2,0 VO Advanced Material Models for Structural Analysis  
5,0/4,0 VU Isogeometric Analysis  
3,0/2,0 VO Nonlinear Finite Element Methods  
2,0/2,0 UE Nonlinear Finite Element Methods

## **Prüfungsfach „Freie Wahlfächer und Transferable Skills“ (10,0 ECTS)**

### **Modul „Freie Wahlfächer und Transferable Skills“ (10,0 ECTS)**

## **Prüfungsfach „Diplomarbeit“ (30,0 ECTS)**

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

## F. Empfehlungen für die Wahl der Schlüsselbereiche

Obschon das Masterstudium *Computational Science and Engineering* für Absolvent\_innen von technischen und naturwissenschaftlichen Bachelorstudien prinzipiell geeignet ist, so sind bestimmte angebotene Schlüsselbereiche besonders passend für bestimmte Bachelorstudien:

- x ... mit normalem Aufwand geeignet
- (x) ... mit erhöhtem Aufwand geeignet
- keine Markierung ... kaum bzw. nur mit sehr hohem Aufwand geeignet

Tabelle 1: Abkürzungen

Build	Computational Building Science
ChMat	Computational Chemistry and Materials Science
Elec	Computational Electronics
FluDyn	Computational Fluid Dynamics and Acoustics
Inf	Computational Informatics
Math	Computational Mathematics
Mech	Computational Mechatronics
SolMech	Computational Solid Mechanics

Tabelle 2: Empfehlungen für die Wahl der Schlüsselbereiche

	Build	ChMat	Elec	FluDyn	Inf	Math	Mech	SolMech
Bauingenieurwesen	x			x		x	x	x
Elektrotechnik und Informationstechnik	(x)		x		x	x	x	(x)
Medieninformatik und Visual Computing					x	x		
Medizinische Informatik	(x)		(x)		x	x		
Software & Information Engineering			(x)		x	x		
Technische Informatik	(x)		x		x	x	(x)	
Wirtschaftsinformatik					x	x		
Maschinenbau	x		x	x	(x)	x	x	x
Wirtschaftsingenieurwesen – Maschinenbau	x		x	x	(x)	x	x	x
Technische Chemie	x	x	(x)	(x)		x	(x)	
Verfahrenstechnik	x	x	(x)	x	(x)	x	x	x
Finanz- und Versicherungsmathematik					x	x		
Statistik und Wirtschaftsmathematik					x	x		
Technische Mathematik	x	(x)	(x)	(x)	x	x	x	(x)
Geodäsie und Geoinformatik					x	x		
Technische Physik	x	x	x	x	(x)	x	x	x