



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Bachelor

**Master**

Doktorat

Universitäts-  
lehrgang

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

Technische Universität Wien  
Beschluss des Senats der Technischen Universität Wien  
am 17. Juni 2024

Gültig ab 1. Oktober 2024

# 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	15
§8 Studierbarkeit und Mobilität	17
§9 Diplomarbeit	18
§10 Akademischer Grad	18
§11 Qualitätsmanagement	18
§12 Inkrafttreten	20
§13 Übergangsbestimmungen	20
A Modulbeschreibungen	21
B Übergangsbestimmungen	51
C Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen	54
D Semesterempfehlung für schief einsteigende Studierende	55

## §1 Grundlage und Geltungsbereich

Der vorliegende Studienplan definiert und regelt das ingenieurwissenschaftliche, englischsprachige Masterstudium *Computational Science and Engineering* an der Technischen Universität Wien. Dieses Masterstudium 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 Bionics, 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 (ECTS) sind ein Maß für den Arbeitsaufwand der Studierenden. Ein Studienjahr umfasst 60 ECTS-Punkte, wobei ein ECTS-Punkt 25 Arbeitsstunden entspricht (gemäß § 54 Abs. 2 UG).

## **§4 Zulassung zum Masterstudium**

Die Zulassung zum Masterstudium *Computational Science and Engineering* setzt den Abschluss eines fachlich in Frage kommenden Bachelorstudiums oder eines anderen fach-

lich in Frage kommenden Studiums mindestens desselben hochschulischen Bildungsniveaus an einer anerkannten inländischen 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.

Zum Ausgleich wesentlicher fachlicher Unterschiede können Ergänzungsprüfungen vorgeschrieben werden, die bis zum Ende des zweiten Semesters des Masterstudiums abzu legen sind.

Die Unterrichtssprache ist Englisch. Studienbewerber\_innen, deren Erstsprache nicht Englisch ist, haben die erforderlichen Sprachkenntnisse nachzuweisen. Die Form des Nachweises ist in einer Verordnung des Rektorats festgelegt.

Manche ergänzende Lehrveranstaltungen zum Ausgleich wesentlicher fachlicher Unterschiede werden auf Deutsch angeboten. Daher werden Deutschkenntnisse nach Referenzniveau B1 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens für Sprachen empfohlen.

Prüfungen über Lehrveranstaltungen zum Ausgleich wesentlicher fachlicher Unterschiede können im Modul Freie Wahlfächer und Transferable Skills im Ausmaß von max. 4,5 ECTS angerechnet werden.

Einzelne Wahlmodule empfehlen zusätzliche Vorkenntnisse, die zwar angeraten, für die Zulassung aber 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 Bionics (15,0 ECTS)**

Computational Bionics

**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 Bionics (15,0 ECTS)** Das Modul vermittelt vertiefende Kenntnisse im Bereich der Modellierung und Simulation der Wechselwirkung biologischer und mechatronischer Systeme, sowie Lösung biomechanischer Problemstellungen. Basierend auf den Grundlagen kontinuierlicher Simulation inklusive System- und Subsystemmodellierung, sowie Grundzüge der Signal- und Regelungstechnik werden speziell die Wechselwirkung von exoprothetischen Systemen mit dem Menschen betrachtet. Das erforderliche Hintergrundwissen zur Modellierung von Muskeln und technischen Aktuator-Systemen, biologischem Gewebe wie Knochen, Bänder, Sehnen, etc. wird vermittelt. Ebenso wird auf die Modellbildung und Simulation des muskuloskelettalen und kardiovaskulären Systems inklusive Aspekte aus der Praxis eingegangen. Nach erfolgreicher Absolvierung dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage, physikalische und biochemische Vorgänge im menschlichen Körper in Wechselwirkung mit technischen Systemen zu erklären und zu beschreiben, forschungsrelevante Themen zu identifizieren, mathematische Modelle von realen Problemstellungen zu erstellen, zu lösen und die Ergebnisse korrekt zu interpretieren.

**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 einen verpflichtenden Einführungskurs 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. Eine 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 Stahlbänderwärmung 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 Universitätsgesetzes 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.

## **Vorgaben zu Lehrveranstaltungen und Prüfungen aus dem Universitätsgesetz 2002**

Vor Beginn jedes Semesters ist ein elektronisches Verzeichnis der Lehrveranstaltungen zu veröffentlichen (Titel, Name der Leiterin oder des Leiters, Art, Form inklusive Angabe des Ortes und Termine der Lehrveranstaltung). Dieses ist laufend zu aktualisieren.

Die Leiterinnen und Leiter einer Lehrveranstaltung haben, zusätzlich zum veröffentlichten Verzeichnis, vor Beginn jedes Semesters die Studierenden in geeigneter Weise über die Ziele, die Form, die Inhalte, die Termine und die Methoden ihrer Lehrveranstaltungen sowie über die Inhalte, die Form, die Methoden, die Termine, die Beurteilungskriterien und die Beurteilungsmaßstäbe der Prüfungen zu informieren.

Für Prüfungen, die in Form eines einzigen Prüfungsvorganges durchgeführt werden, sind Prüfungstermine jedenfalls drei Mal in jedem Semester (laut Satzung am Anfang, zu Mitte und am Ende) anzusetzen, wobei die Studierenden vor Beginn jedes Semesters über die Inhalte, die Form, die Methoden, die Termine, die Beurteilungskriterien und die Beurteilungsmaßstäbe der Prüfungen zu informieren sind.

Bei Prüfungen mit Mitteln der elektronischen Kommunikation ist eine ordnungsgemäße Durchführung der Prüfung zu gewährleisten, wobei zusätzlich zu den allgemeinen Regelungen zu Prüfungen folgende Mindestanforderungen einzuhalten sind:

- Bekanntgabe der Standards vor dem Beginn des Semesters, die die technischen Geräte der Studierenden erfüllen müssen, um an diesen Prüfungen teilnehmen zu können.
- Zur Gewährleistung der eigenständigen Erbringung der Prüfungsleistung durch die Studierende oder den Studierenden sind technische oder organisatorische Maßnahmen vorzusehen.
- Bei technischen Problemen, die ohne Verschulden der oder des Studierenden auftreten, ist die Prüfung abzubrechen und nicht auf die zulässige Zahl der Prüfungsantritte anzurechnen.

## **Vorgaben zu Lehrveranstaltungen aus der Satzung der TU Wien**

(SSB steht für Satzung der TU Wien, Studienrechtliche Bestimmungen)

- Der Umfang der Lehrveranstaltung ist in ECTS-Anrechnungspunkten und in Semesterstunden anzugeben (§ 9 SSB, Module und Lehrveranstaltungen).
- Die Abhaltung von Lehrveranstaltungen als „Blocklehrveranstaltungen“ ist nach Genehmigung durch Studiendekan\_in möglich (§ 9 SSB, Module und Lehrveranstaltungen).
- Die Abhaltung von Lehrveranstaltungen und Prüfungen in einer Fremdsprache ist nach Genehmigung durch Studiendekan\_in möglich (§ 11 SSB, Fremdsprachen).
- Lehrveranstaltungsprüfungen dienen dem Nachweis der Lernergebnisse, die durch eine einzelne LVA vermittelt wurden (§ 12 SSB, Lehrveranstaltungsprüfung).

- Die Lehrveranstaltungsprüfungen sind von dem\_der Leiter\_in der Lehrveranstaltung abzuhalten. Bei Bedarf hat das Studienrechtliche Organ eine\_n andere\_n fachlich geeignete\_n Prüfer\_in zu bestellen (§ 12 SSB, Lehrveranstaltungsprüfung).
- Jedenfalls sind für Prüfungen in Pflicht- und Wahlpflichtlehrveranstaltungen, die in einem einzigen Prüfungsakt enden, drei Prüfungstermine für den Anfang, für die Mitte und für das Ende jedes Semester anzusetzen. Diese sind mit Datum vor Beginn des Semesters bekannt zu geben (§ 15 SSB, Prüfungstermine).
- Prüfungen dürfen auch am Beginn und am Ende lehrveranstaltungsfreier Zeiten abgehalten werden (§ 15 SSB, Prüfungstermine).
- Die Prüfungstermine sind in geeigneter Weise bekannt zu machen (§ 15 SSB, Prüfungstermine).

### **Beschreibung von Lehrveranstaltungstypen:**

- VO:** Vorlesungen sind Lehrveranstaltungen, in denen die Inhalte und Methoden eines Faches unter besonderer Berücksichtigung seiner spezifischen Fragestellungen, Begriffsbildungen und Lösungsansätzen vorgetragen werden. Die Prüfung wird mit einem einzigen Prüfungsvorgang durchgeführt. In der Modulbeschreibung ist der Prüfungsvorgang je Lehrveranstaltung (schriftlich oder mündlich, oder schriftlich und mündlich) festzulegen. Bei Vorlesungen herrscht keine Anwesenheitspflicht, das Erreichen der Lernergebnisse muss dennoch gesichert sein.
- EX:** Exkursionen sind Lehrveranstaltungen, die außerhalb der Räumlichkeiten der TU Wien stattfinden. Sie dienen der Vertiefung von Lehrinhalten im jeweiligen lokalen Kontext.
- LU:** Laborübungen sind Lehrveranstaltungen, in denen Studierende einzeln oder 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 am Qualifikationsprofil des Studiums und ergänzen die Berufsvorbildung bzw. wissenschaftliche Ausbildung.
- SE:** Seminare sind Lehrveranstaltungen, bei denen sich Studierende mit einem gestellten Thema oder Projekt auseinander setzen und dieses mit wissenschaftlichen Methoden bearbeiten, wobei eine Reflexion über die Problemlösung sowie ein wissenschaftlicher Diskurs gefordert werden.
- UE:** Übungen sind Lehrveranstaltungen, in denen konkrete Aufgabenstellungen – beispielsweise rechnerisch, konstruktiv, künstlerisch oder experimentell – zu bearbeiten sind. Dabei werden unter fachlicher Anleitung oder Betreuung die Fähigkeiten

und Fertigkeiten der Studierenden zur Anwendung auf konkrete Aufgabenstellungen entwickelt.

**VU:** Vorlesungen mit integrierter Übung sind Lehrveranstaltungen, in denen die beiden Lehrveranstaltungstypen VO und UE in einer einzigen Lehrveranstaltung kombiniert werden. Der jeweilige Übungs- und Vorlesungsanteil darf ein Viertel des Umfangs der gesamten Lehrveranstaltungen nicht unterschreiten. Beim Lehrveranstaltungstyp VU ist der Übungsteil jedenfalls prüfungsimmanent, der Vorlesungsanteil kann in einem Prüfungsakt oder prüfungsimmanent geprüft werden. Unzulässig ist es daher, den Übungsteil und den Vorlesungsteil gemeinsam in einem einzigen Prüfungsvorgang zu prüfen.

## **Beschreibung der Lehrveranstaltungen und Prüfungen im Informationssystem zu Studien und Lehre:**

- Typ der Lehrveranstaltung (VO, EX, LU, PR, SE, UE, VU)
- Form (Präsenz, Online, Hybrid, Blended)
- Termine (Angabe der Termine, gegebenenfalls auch die für die positive Absolvierung erforderliche Anwesenheit)
- Inhalte (Beschreibung der Inhalte, Vorkenntnisse)
- Literaturangaben
- Lernergebnisse (Umfassende Beschreibung der Lernergebnisse)
- Methoden (Beschreibung der Methoden in Abstimmung mit Lernergebnissen und Leistungsnachweis)
- Leistungsnachweis (in Abstimmung mit Lernergebnissen und Methoden)
  - Ausweis der Teilleistungen, inklusive Kennzeichnung, welche Teilleistungen wiederholbar sind. Bei Typ VO entfällt dieser Punkt.
- Prüfungen:
  - Inhalte (Beschreibung der Inhalte, Literaturangaben)
  - Form (Präsenz, Online)
  - Prüfungsart bzw. Modus
    - \* Typ VO: schriftlich oder mündlich, oder schriftlich und mündlich;
    - \* bei allen anderen Typen: Ausweis der Teilleistungen inklusive Art und Modus beziehend auf die in der Lehrveranstaltung angestrebten Lernergebnisse.
  - Termine (Angabe der Termine)
  - Beurteilungskriterien und Beurteilungsmaßstäbe

## **§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, sowie die positive Absolvierung der Lehrveranstaltung *Seminar für Diplomand\_innen*,
2. die Abfassung einer positiv beurteilten Diplomarbeit und
3. die positive Absolvierung der kommissionellen Abschlussprüfung. Diese erfolgt mündlich vor einem Prüfungssenat gemäß § 13 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 § 17 (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 sowie
- (e) auf Antrag des\_der Studierenden die Gesamtnote des absolvierten Studiums gemäß §72a UG.

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. Wenn keines der Prüfungsfächer schlechter als mit „gut“ und mindestens die Hälfte mit „sehr gut“ benotet wurde, so lautet die *Gesamtbeurteilung* „mit Auszeichnung bestanden“ und ansonsten „bestanden“.

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 § 15 (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. Bei Lehrveranstaltungen, bei denen eine Beurteilung in der oben genannten Form nicht möglich ist, werden diese durch „mit Erfolg teilgenommen“ (E) bzw. „ohne Erfolg teilgenommen“ (O) beurteilt.

## §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 Modulen beliebiger Schlüsselbereiche 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 Modulen beliebiger Schlüsselbereiche 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 künstlerisch-wissenschaftliche Arbeit, die dem Nachweis der Befähigung dient, ein Thema selbstständig inhaltlich und methodisch vertretbar zu bearbeiten. Das Thema der Diplomarbeit ist von der oder dem Studierenden frei wählbar und muss im Einklang mit dem Qualifikationsprofil stehen.

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

Die Diplomarbeit ist in englischer Sprache abzufassen.

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 des Plan-Do-Check-Act Modells nach standardisierten Prozessen und ist zielgruppenorientiert gestaltet. Die Zielgruppen des Qualitätsmanagements sind universitätsintern die Studierenden und die Lehrenden sowie extern die Gesellschaft, die Wirtschaft und die Verwaltung, einschließlich des Arbeitsmarktes für die Studienabgänger\_innen.

In Anbetracht der definierten Zielgruppen werden sechs Ziele für die Qualität der Studien an der TU Wien festgelegt: (1) In Hinblick auf die Qualität und auf die 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 ??) dienen die folgenden Gruppengrößen als Richtwert:

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

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

Lehrveranstaltungen mit ressourcenbedingten Teilnahmebeschränkungen sind in der Beschreibung des jeweiligen Moduls entsprechend gekennzeichnet; weiters sind dort die Anzahl der verfügbaren Plätze und das Verfahren zur Vergabe dieser Plätze festgelegt. Die Lehrveranstaltungsleiter\_innen sind berechtigt, mehr Teilnehmer\_innen 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 2024 in Kraft.

## **§13 Übergangsbestimmungen**

Die Übergangsbestimmungen sind in Anhang B zu finden.

## 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. Eine Semesterstunde entspricht so vielen Unterrichtseinheiten wie das Semester Unterrichtswochen umfasst. Eine Unterrichtseinheit dauert 45 Minuten. Der Typ der Lehrveranstaltung (XX) ist im §6 unter *Lehrveranstaltungstypen* auf Seite 14 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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

5,5/4,0 VU Applied Mathematics Foundations

## 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 Vorlesungsübung (VU) ist interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungsteilen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Ingenieurpraxis und aus der Forschung weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt laufend anhand von Übungs- und/oder Projektarbeiten sowie eventuell in einem abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungsakt.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studieren und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

5,5/4,0 VU 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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

#### **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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

4,5/3,0 VU Advanced Multiprocessor Programming

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

4,5/3,0 VU High Performance Computing

## **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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

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

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

2,0/2,0 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, Kompiler und Kompilersysteme, 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 Projektabgaben und (wie auch bei der VO) in abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**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 Bionics

**Regelarbeitsaufwand:** 15,0 ECTS

## Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- Die Modellierung und Simulation der Wechselwirkung biologischer und mechatronischer Systeme, sowie Lösungen biomechanischer Problemstellungen herzuleiten;
- Grundlagen kontinuierlicher Simulationen inklusive System- und Subsystemmodellierung, sowie Grundzüge der Signal- und Regelungstechnik anzuwenden;
- Muskeln und technischen Aktuator-Systemen zu modellieren;
- Die Prinzipien von Punkt-, Starrkörper-, und Kontinuumsmechanik anzuwenden sowie die Beschreibung und Modellbildung des muskuloskelettalen und kardiovaskulären Systems durchzuführen. Je nach Wahl der Lehrveranstaltungen sind die Studierenden zusätzlich
- in der Lage Finite-Elemente-Methoden auf Biomechanische Problemstellungen wie z.B. Spannungsanalyse in Knochen oder Prothetischen Komponenten anzuwenden;
- biologisches Gewebe zu beschreiben und nichtlinearer Kontinuumsmechanik zur Simulation von Knochen, Bänder, Sehnen und flüssigkeitssaturierten biologischen Geweben anzuwenden.
- Die Studierenden sind in der Lage grundlegende physiologische, physikalische und biochemische Vorgänge im Menschlichen Körper zu erklären und zu beschreiben.
- Sowie die Beurteilung der Ableitung elektrischer, chemischer, akustischer, magnetischer, mechanischer und optischer Biosignale und Entwurf von jeweiligen Sensorsystemen

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- Lösungsstrategien in der System- und Subsystembeschreibung, Modellierung und numerischen Lösung zu implementieren und zu validieren;
- die angewandten Lösungsstrategien und erzielten Ergebnisse in einem technischen Bericht zu dokumentieren und zu präsentieren;
- aus den gewonnenen Ergebnissen entsprechende Schritte zur Produktverbesserung abzuleiten;
- 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 Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage:

- allein und in kleinen Gruppen Fragestellungen im rechenintensiven Computersimulationsbereich gekoppelter biologischer-mechatronischer Systeme zu analysieren, Lösungen zu erarbeiten und optimierte Modelle, Computerprogramme und Simulationen zu erstellen;

- analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken;
- Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von Computational Science and Engineering und ihr eigenes Handeln einzuschätzen;
- selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten;
- zu vermitteln und zu beraten und in interdisziplinären Teams effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation;
- ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

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

- Modellierung, Simulation der Wechselwirkung biologischer und mechatronischer Systeme
- System- und Subsystemmodellierung
- Grundlagen der kontinuierlichen Simulation
- Grundzüge der Signal- und Regelungstechnik
- Modellierung von Muskeln und technischen Aktuator-Systemen
- Punkt-, Starrkörper-, und Kontinuumsmechanik
- Beschreibung und Modellbildung des muskuloskelettalen Systems
- Grundlagen Finite-Elemente-Methoden speziell für biomechanische Problemstellungen
- Beschreibung und Modellbildung biologischer Gewebe
- Beschreibung grundlegender physiologische, physikalische und biochemische Vorgänge im menschlichen Körper
- Ableitung elektrischer, chemischer, akustischer, magnetischer, mechanischer und optischer Biosignale zu Beurteilung und Entwurf von jeweiligen Sensorsysteme

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:*

- Kenntnisse aus der Mechanik und Elektrotechnik, Kontinuumsmechanik, Signal und Regelungstechnik
- 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.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** 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 und praktische Anwendung gelegt. Falls angebracht,

enthalten Vorlesungseinheiten auch einen Laborbesuch, um durch praktische Vorführungen das physikalische Verständnis 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 allein 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), der Laborübungen (LU), der Projektarbeiten (PR), 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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

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

Verpflichtend:

4,0/3,0 VU Computational Bionics

3,0/2,0 VU Introduction to Biomechanics

Optional:

5,0/4,0 VU Computational Biomechanics

3,0/2,0 VO Tissue Biomechanics

2,0/2,0 UE Tissue Biomechanics Tutorial

2,0/2,0 LU Tissue Biomechanics

3,0/2,0 VO Multiscale Material Modeling

3,0/2,0 VO Biomedical Sensors and Signals

3,0/2,0 VU Biosignal Analysis using Matlab

2,0/2,0 SE Seminar Tissue Biomechanics

5,0/4,0 PR Project Work Tissue Biomechanics

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 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: Programmierertechniken 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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

Verpflichtend:

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

Optional:

- 3,5/3,0 VU Advanced Numerical Methods in Building Science 2
- 3,0/2,0 VO Engineering Biochemoporomechanics
- 3,0/2,0 VO Multiscale Material Modelling
- 2,0/2,0 UE Multiscale Material Modelling

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 und von Übungen. Für manche (VU) wird neben der Beurteilung des Übungsteils ein zusätzlicher einzelner Prüfungsakt am Ende des Semesters zur Leistungsbeurteilung herangezogen. Die Beurteilung der Praktika (PR) erfolgt durch Bewertung schriftliche Protokolle mit Programmcode.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:** Zusätzlich zu den 4,5 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 10,5 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul. Verpflichtend:

4,5/3,0 VU Introduction to Theoretical Chemistry

Optional:

6,0/4,0 VU Computational Materials Science

4,5/3,0 VU Physical and Theoretical Solid State Chemistry

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

3,0/2,0 VU Simulations of Condensed Matter

3,0/2,0 VO Theoretical Molecular Chemistry

## 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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

### **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 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 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 Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungen (UE), Übungsteilen der VU, 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), 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 angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:** Zusätzlich zu den 5 ECTS an verpflichtenden Lehrveranstaltungen dieses Moduls müssen noch mindestens 10 ECTS aus dem optionalen Lehrveranstaltungs-Katalog dieses Moduls absolviert werden; insgesamt mindestens 15 ECTS aus diesem Modul.

Verpflichtend:

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

Optional:

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

3,0/2,0 VU Aeroacoustics

5,0/3,0 VU Computational Aerodynamics

5,0/4,0 VU Numerical Methods in Fluid Dynamics

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

3,0/2,0 VU Numerical Modelling of Turbulent Flows

## 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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

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

Untergruppe Data Management and Analytics:

6,0/4,0 VU Advanced Database Systems

4,5/3,0 VU Advanced Methods for Regression and Classification

3,0/2,0 VU Applied Deep Learning

6,0/4,0 VU Database Systems

3,0/2,0 VU Data-Intensive Computing  
 3,0/2,0 VU Data-Oriented Programming Paradigms  
 3,0/2,0 VO Data Stewardship  
 3,0/2,0 UE Data Stewardship  
 3,0/2,0 VU Deep Learning for Visual Computing  
 3,0/2,0 VU Experiment Design for Data Science  
 4,5/3,0 VU Machine Learning  
 3,0/2,0 VU Statistical Simulation and Computer-intensive Methods  
 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  
 6,0/4,0 VU GPU Architectures and Computing  
 3,0/2,0 VU Heuristic Optimization Techniques  
 3,0/2,0 VU Mathematical Programming  
 3,0/2,0 VU Nonlinear Optimization  
 3,0/2,0 VU Parallel Algorithms  
 3,0/2,0 VU Structural Decompositions and Algorithms

## 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.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

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  
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  
3,0/2,0 SE Computational Mathematics  
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  
3,5/2,0 VU Optimization with PDE Constraints

Weiters können alle Lehrveranstaltungen mit dem Präfix *AKNUM*, die im Masterstudium *Technische Mathematik* angeboten werden, ebenfalls für dieses Modul verwendet werden.

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 einzigen Prüfungsakt.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

### **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:

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

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

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

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

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 einzigen Prüfungsakt.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

### **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:

3,0/2,0 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 Using Finite Element Methods

5,0/4,0 VU Advanced 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

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**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 Übergangsbestimmungen

1. Sofern nicht anders angegeben, wird im Folgenden unter Studium das *Masterstudium Computational Science and Engineering (Studienkennzahl UE 066 646)* verstanden. Der Begriff neuer Studienplan bezeichnet diesen ab 1.10.2024 für dieses Studium an der Technischen Universität Wien gültigen Studienplan und alter Studienplan den bis dahin gültigen. Entsprechend sind unter neuen bzw. alten Lehrveranstaltungen solche des neuen bzw. alten Studienplans zu verstehen (alt inkludiert auch frühere Studienpläne). Mit studienrechtlichem Organ ist das für das Masterstudium Computational Science and Engineering zuständige studienrechtliche Organ an der Technischen Universität Wien gemeint.
2. Die Übergangsbestimmungen gelten für Studierende, die den Studienabschluss gemäß neuem Studienplan an der Technischen Universität Wien einreichen und die vor dem 1.7.2024 zum Masterstudium Computational Science and Engineering an der Technischen Universität Wien zugelassen waren. Das Ausmaß der Nutzung der Übergangsbestimmungen ist diesen Studierenden freigestellt.
3. Auf Antrag der\_des Studierenden kann das studienrechtliche Organ die Übergangsbestimmungen individuell modifizieren oder auf nicht von Absatz 2 erfasste Studierende ausdehnen.
4. Zeugnisse über Lehrveranstaltungen, die inhaltlich äquivalent sind, können nicht gleichzeitig für den Studienabschluss eingereicht werden. Im Zweifelsfall entscheidet das studienrechtliche Organ über die Äquivalenz.
5. Zeugnisse über alte Lehrveranstaltungen können, sofern im Folgenden nicht anders bestimmt, jedenfalls für den Studienabschluss verwendet werden, wenn die Lehrveranstaltung von der\_dem Studierenden mit Stoffsemester Sommersemester 2024 oder früher absolviert wurde.
6. Lehrveranstaltungen, die in früheren Versionen des Studienplans in einzelnen Wahlmodulen enthalten waren, können auch weiterhin in den jeweiligen Modulen für den Abschluss des Studiums verwendet werden.
7. Überschüssige ECTS-Punkte aus den Pflichtmodulen können als Ersatz für zu erbringende Leistungen in den Freien Wahlfächern und/oder Transferable Skills verwendet werden. Überschüssige ECTS-Punkte aus den Wahlmodulen können als Ersatz für zu erbringende Leistungen in den Freien Wahlfächern und/oder Transferable Skills verwendet werden.
8. Bisher geltende Übergangsbestimmungen bleiben bis auf Widerruf weiterhin in Kraft. In Ergänzung dazu gelten die in Absatz 9 angeführten Bestimmungen.
9. Im Folgenden wird jede Lehrveranstaltung (*alt* oder *neu*) durch ihren Umfang in ECTS-Punkten und Semesterstunden, ihren Typ und ihren Titel beschrieben. Es

zählt der ECTS-Umfang der tatsächlich absolvierten Lehrveranstaltung. Die Äquivalenzliste gibt an, für welche neuen Veranstaltungen die alten Veranstaltungen jeweils verwendet werden können.

Die Lehrveranstaltung alt *VO Numerical Methods for Fluid Mechanics (3 ECTS, 2 SWS)* ist äquivalent zur Lehrveranstaltung neu *VU Numerical Methods in Fluid Mechanics (5 ECTS, 4 SWS)*. Wird die alte Lehrveranstaltung *VO Numerical Methods for Fluid Mechanics* als verpflichtende Lehrveranstaltung gewählt, bleibt der Regelarbeitsaufwand von 15 ECTS für das Modul *Computational Fluid Dynamics and Acoustics* aufrecht.

Weiters gelten die folgenden Äquivalenzen:

Die Lehrveranstaltung alt *VU Computational Materials Science (3 ECTS, 2 SWS)* ist äquivalent zur Lehrveranstaltung neu *VU Computational Materials Science (6 ECTS, 4 SWS)*.

Die Lehrveranstaltung alt *VU Introduction to Atomistic Calculations (3 ECTS, 2 SWS)* ist äquivalent zur Lehrveranstaltung neu *VU Introduction to Theoretical Chemistry (4,5 ECTS, 3 SWS)*.

Die Lehrveranstaltung alt *VO Physical and Theoretical Solid State Chemistry (3 ECTS, 2 SWS)* ist äquivalent zur Lehrveranstaltung neu *VU Physical and Theoretical Solid State Chemistry (4,5 ECTS, 3 SWS)*.

Die Lehrveranstaltung alt *VU Simulations of Solids (3 ECTS, 2 SWS)* ist äquivalent zur Lehrveranstaltung neu *VU Simulations of Condensed Matter (3 ECTS, 2 SWS)*.

Im Modul *Computational Informatics* wurde die Lehrveranstaltung

3,0/2,0 *VU Mathematical Programming*

von der Untergruppe *Data Management and Analytics* in die Untergruppe *Algorithmics* verschoben. Studierende, welche diese Lehrveranstaltung mit Stoffsemester Sommersemester 2023 oder früher absolviert haben, können diese wahlweise in einer der beiden Untergruppen verwenden.

10. Die Lehrveranstaltung 5,0 *VU Isogeometric Analysis* abgeschlossen mit Stoffsemester 2024S oder früher kann im Modul *Computational Solid Mechanics* verwendet werden. Sie ist äquivalent mit 5,0 *VU Advanced Finite Element Methods*.
11. Die Lehrveranstaltungen 3,0 *VO Nonlinear Finite Element Methods* and 2,0 *UE Nonlinear Finite Element Methods* abgeschlossen mit Stoffsemester 2024S oder früher können im Modul *Computational Solid Mechanics* verwendet werden. Sie sind gemeinsam äquivalent mit 5,0 *VU Advanced Finite Element Methods*.
12. Die Lehrveranstaltung *Advanced Material Models for Structural Analysis* abgeschlossen mit Stoffsemester 2024S oder früher kann im Modul *Computational Solid Mechanics* verwendet werden.

13. Die Lehrveranstaltungen 3,0 VU Concepts in Condensed Matter Physics und 3,0 PR Selected Topics in Materials Sciences abgeschlossen mit Stoffsemester 2024S oder früher können im Modul Computational Chemistry and Materials Science verwendet werden.
14. Im Modul Computational Building Science kann die LVA 1,0 VU Data Management in Computational Building Science mit Stoffsemester 2024S oder früher als Wahllehrveranstaltung angerechnet werden. Weiterhin ist sie gemeinsam mit der LVA 2,0 VU Introduction to Digital Twins for Buildings and Cities, abgeschlossen 2024S oder früher, äquivalent zur LVA 3,0 VU Introduction to Digital Twins for Buildings and Cities.

Die LVA 2,0 VU Introduction to Digital Twins for Buildings and Cities, abgeschlossen 2024S oder früher, ist äquivalent zu LVA 3,0 VU Introduction to Digital Twins for Buildings and Cities, wobei die fehlenden 1,0 ECTS mit anderen Veranstaltungen aus dem Modul ausgeglichen werden müssen, um die erforderlichen 15 ECTS zu erreichen.

Die LVA 3,5 Research Methods and Scientific Writing in Building and City Science, abgeschlossen 2024S oder früher, ist äquivalent zu LVA 2,0 Research Methods and Scientific Writing in Building and City Science, wobei überschüssige ECTS zum Erreichen der erforderlichen 15 ECTS verwendet werden können.

Die LVA 3,0 Advanced Numerical Methods in Building Science 1, abgeschlossen 2024S oder früher, ist äquivalent zu LVA 3,5 Advanced Numerical Methods in Building Science 1, wobei die fehlenden 0,5 ECTS mit anderen Veranstaltungen aus dem Modul ausgeglichen werden müssen, um die erforderlichen 15 ECTS zu erreichen.

# 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 Applied Mathematics Foundations  
5,5 VU Numerical Computation

## 2. Semester (SS)

4,5 VU High Performance Computing  
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)

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

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.