

Studiengangsdokumentation

Masterstudiengang Computational Science and Engineering

Teil A
Fakultät für Informatik
Technische Universität München

Allgemeines:

- Organisatorische Zuordnung: Fakultät für Informatik
- Bezeichnung: Computational Science and Engineering (CSE)
- Abschluss: Master of Science (M.Sc.)
- Regelstudienzeit und Credits: 4 Fachsemester und 120 Credit Points (CP)
- Studienform: Vollzeit
- Zulassung: Eignungsverfahren (EV - Master),
- Starttermin: Wintersemester (WiSe) 2001/2002
- Sprache: Englisch
- Hauptstandort: Garching
- Ergänzende Angaben: Das Masterstudium CSE ist Basisstudium für das Zusatzprogramm „Bavarian Graduate School of Computational Engineering“ (BGCE) im Rahmen des Elite-Netzwerks Bayern (ENB)
- Studiengangsverantwortlicher: Prof. Dr. Hans-Joachim Bungartz
- Ansprechperson(en) bei Rückfragen zu diesem Dokument:
 - Prof. Dr. Michael Bader
 - E-Mailadresse: bader@in.tum.de
 - Telefonnummer: 089/35831-7810
 - Hayden Liu Weng, M.Sc. (hons)
 - E-Mailadresse: h.liu@in.tum.de
 - Telefonnummer: 089/289-18630
 - Qunsheng Huang, M.Sc.
 - E-Mailadresse: huangq@in.tum.de
 - Telefonnummer: 089/289-18636
- Stand vom: 13.12.2021

Inhaltsverzeichnis

1	Studiengangsziele	4
1.1	Zweck des Studiengangs	4
1.2	Strategische Bedeutung des Studiengangs	5
2	Qualifikationsprofil	7
3	Zielgruppen	11
3.1	Adressatenkreis	11
3.2	Vorkenntnisse	11
3.3	Zielzahlen	12
4	Bedarfsanalyse	15
5	Wettbewerbsanalyse	18
5.1	Externe Wettbewerbsanalyse	18
5.2	Interne Wettbewerbsanalyse	19
6	Aufbau des Studiengangs	20
6.1	Erläuterung der Module	21
6.2	Möglichkeiten zur Spezialisierung und Profilbildung	24
6.3	Exemplarischer Studienplan	28
7	Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten	30
7.1	CSE-spezifische Zuständigkeiten	31
7.2	Zuständigkeiten der Fakultät für Informatik	32
7.3	Zentrale Zuständigkeiten an der TUM	35
8	Entwicklungen im Studiengang	36

1 Studiengangsziele

1.1 Zweck des Studiengangs

Das Verständnis von Phänomenen und Prozessen, wie sie in den Natur- und Ingenieurwissenschaften erforscht, untersucht und optimiert werden, basiert heutzutage nicht mehr ausschließlich auf Theorie und Experiment, sondern zusätzlich auf rechnergestützten Berechnungen. Numerische und datengestützte Simulationen ergänzen Experimente klassischer Prägung. Darüber hinaus erlauben sie das Studium und die Analyse technischer Systeme und naturwissenschaftlicher Vorgänge, bei denen ein Experiment allein zu zeitintensiv, teuer, gefährlich oder gar unmöglich wäre.

Das Bestreben nach immer höherem Detailgrad und Realitätsnähe solcher Simulationen erfordert enorme Rechenkapazitäten, ausgeklügelte Modelle und Algorithmen sowie vertiefte Kenntnisse in Feldern wie Software-Entwicklung, paralleler Programmierung, Datenexploration und Visualisierung. Aufgrund zahlreicher Fortschritte in jedem dieser Bereiche können Berechnungsingenieurinnen und Berechnungsingenieure heute Probleme lösen, die früher aufgrund ihrer Größe und Komplexität als unzugänglich galten.

Dies ist der Grund, weshalb der multidisziplinäre Bereich des „Computational Science and Engineering“ (CSE) im Umfeld der akademischen und industriellen Forschung und Entwicklung an Bedeutung immer stärker zunimmt. CSE basiert auf den drei Säulen Angewandte Mathematik (insbesondere numerische Verfahren), Informatik und natur- sowie ingenieurwissenschaftliche Anwendungen (z.B. Computational Mechanics, Computational Fluid Dynamics, Computational Physics, Computational Finance, uvm.), die durch den Bereich des Wissenschaftlichen Rechnens ergänzt werden. Beim Wissenschaftlichen Rechnen können am Computer Experimente durchgeführt werden, die real nicht möglich oder unwirtschaftlich wären. CSE konzentriert sich im Allgemeinen auf die Entwicklung von Methoden zur Problemlösung sowie auf die Bereitstellung leistungsfähiger und robuster Werkzeuge für die verschiedenen Aufgaben (z.B. Modellierung natürlicher und ingenieurtechnischer Phänomene, effiziente Berechnung auf modernen Hardwarearchitekturen, Validierung und Interpretation von Ergebnissen uvm.) im Kontext numerischer Simulationen.

Der erfolgreiche Weg von einem konkreten Szenario in einem Anwendungsgebiet hin zu aussagekräftigen Ergebnissen einer numerischen Simulation erfordert sowohl Expertise in der betreffenden Problemdomäne als auch Kompetenzen in mathematischer Modellierung, numerischer Mathematik, effizienten Algorithmen, (parallelen) Rechnerstrukturen, Softwareentwurf und Implementierung sowie Validierung, Visualisierung und Analyse von Ergebnissen. Die Tatsache, dass CSE all diese Bereiche berührt und erfordert, zeigt die Notwendigkeit einer Ausbildung, die diesen Anforderungen auch gerecht wird. Dies wird auch von einer steigenden Nachfrage an Berechnungsingenieurinnen und -ingenieuren in der Industrie unterstrichen. Ziel ist daher die Vermittlung der oben genannten Fertigkeiten und Kompetenzen, die im Kontext von CSE auch als Simulationstechniken bezeichnet werden.

Ziel des forschungsorientierten Masterstudiengangs *Computational Science and Engineering (CSE)* ist es, Studierende zu hochqualifizierten Berechnungsingenieurinnen und Berechnungsingenieuren auszubilden. Sie sind Expertinnen bzw. Experten in allen Bereichen der sogenannten

Simulationspipeline, die sich vereinfacht aus den folgenden Stufen zusammensetzt: Modellierung, Diskretisierung, rechnergestützte Simulation, Visualisierung, Datenanalyse, Validierung und Erkenntnisgewinn. Diskretisierung erfordert Expertise in numerischer Mathematik. Die Umsetzung in wissenschaftliche Software, die auf Hochleistungsrechnern einsetzbar ist, erfordert vertiefte Kenntnisse in Software-Entwicklung und paralleler Programmierung. Damit agieren die Absolventinnen und Absolventen an der Schnittstelle von Informatik, Angewandter Mathematik und natur- sowie ingenieurwissenschaftlichen Anwendungen. Der Studiengang ist dementsprechend interdisziplinär ausgerichtet.

Der konsekutive Masterstudiengang *CSE* bildet die Basis für eine erfolgreiche Karriere in Wissenschaft oder Industrie im Bereich CSE, wobei das Profil des Studiengangs vorrangig auf forschungsnahe Tätigkeiten in Industrie und Wissenschaft ausgerichtet ist. Dies erfordert den umfangreichen Einsatz und die Weiterentwicklung von Methoden aus dem Bereich des Hochleistungsrechnens. Der Studiengang richtet sich an Studieninteressierte mit einer Bachelorausbildung in einer natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Disziplin.

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs

Die Technische Universität München bietet mit ihren forschungsstarken Fakultäten für Mathematik und für Informatik sowie ihrem breiten Spektrum an natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten und Forschungseinrichtungen – welche numerische Simulationen intensiv nutzen und fachspezifisch vorantreiben – ein ideales Umfeld, um hochqualitative Anknüpfungen für CSE zu ermöglichen. Deshalb hat die Technische Universität München schon früh diesen Trend aufgegriffen und ihr Studienangebot im Jahr 2001 um den Masterstudiengang *CSE* erweitert. Als erster Masterstudiengang der Fakultät für Informatik sowie als erster Studiengang der Fakultät mit internationaler Ausrichtung spielt der Studiengang zudem in doppelter Hinsicht eine Vorreiterrolle.

Das Profil des Studiengangs ist interdisziplinär ausgerichtet, weswegen der Studiengang von mehreren Fakultäten der TUM getragen wird.¹ Der Fokus des Studiengangs liegt auf der Simulationstechnik, gleichzeitig bewegt sich die Ausbildung zwischen angewandter (insbes. Numerischer) Mathematik, Informatik, Natur- und Ingenieurwissenschaften sowie dedizierten Bereichen des Computational Science and Engineering. Es findet sowohl eine Spezialisierung als auch die unerlässliche Verknüpfung zu anderen Wissenschaftsfeldern statt.

Gemeinsam mit dem an der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt angesiedelten Schwesterstudiengang „Computational Mechanics“ bildet CSE ein in dieser Kombination deutschlandweit einzigartiges Portfolio an „Computational“-Studiengängen. Durch die Kooperation mit dem Studiengang „Computational Engineering“ der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg erhalten die drei Studiengänge im Rahmen des Zusatzprogramms „Bavarian Graduate School of Computational Engineering“ (BGCE) eine bayernweite Dimension. Die BGCE bietet den leistungs- und motivationsstärksten Studierenden aus den drei „Basisstudiengängen“ ein zusätzliches Förderprogramm an. Für CSE bedeutet dies konkret, dass in die BGCE aufgenommene Studierende ein Zusatzcurriculum im Umfang von 30 ECTS Credits absolvieren. Dieses Zusatzcurriculum umfasst einen fachbezogenen Teil, überfachliche Grundlagen und eine

¹ An der Ausbildung sind die Fakultäten für Mathematik, Maschinenwesen, Chemie, Physik, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie die Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt beteiligt.

Projektarbeit. Im fachbezogenen Teil werden Kenntnisse in aktuellen Forschungsgebieten des Scientific Computing vertieft. Der überfachliche Teil widmet sich der Ausbildung im Bereich Soft Skills und Persönlichkeitsentwicklung. Ein Studienprojekt, als stark projektspezifische und forschungsorientierte Ausbildungskomponente, rundet das Zusatzprogramm ab und bindet die Studierenden stärker als üblich in die aktuelle Forschungsarbeit ein. Die Umsetzung des Projekts erfolgt typischerweise in Kooperation mit einem Industriepartner. In den vergangenen Jahren waren dies beispielsweise Unternehmen wie Siemens, General Electric oder die Gesellschaft für Reaktorsicherheit. Als einer der Schwerpunkte der „International Graduate School of Science and Engineering“ (IGSSE) der TUM ist „Computational Science & Engineering“ zudem fest im Bereich der strukturierten Promotionsprogramme der TUM verankert. Somit ergibt sich ein vom Bachelor bis zur Promotion durchgängiges Konzept der akademischen Ausbildung im Bereich CSE.

Aufgrund der Komplexität der zu simulierenden Prozesse und Phänomene ist modernes CSE ohne den Einsatz von Techniken und Systemen des Höchstleistungsrechnens (HPC) unvorstellbar. Der Masterstudiengang CSE profitiert daher in besonderem Maße von der Nachbarschaft des Leibniz-Rechenzentrums (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, einem von drei nationalen Höchstleistungsrechenzentren in Deutschland, sowie vom gesamten Forschungscampus Garching (u.a. mit vier CSE- und HPC-affinen Max-Planck-Instituten), der seinerseits in hohem Maße auf einschlägig ausgebildete Absolventinnen und Absolventen angewiesen ist.

Der Masterstudiengang CSE fügt sich hervorragend in die strategische Ausrichtung der Fakultät für Informatik ein, die in allen Phasen der akademischen Ausbildung nationale und internationale Standards setzen will. Als englischsprachiges Programm stärkt der Master CSE die Aktivitäten der Fakultät in Sachen Internationalisierung, als interdisziplinäres Programm die Beziehungen zu anderen Fächern und Fakultäten sowie die Etablierung der Informatik als Querschnittsdisziplin. Die starke Forschungsorientierung im Master CSE entspricht zudem dem Anspruch der Fakultät, Spitzenforschung und exzellente Lehre zu verknüpfen: Forschungstechnisch gibt es starke Bezüge zu Forschungsclustern der Fakultät, allen voran zum Cluster Extreme Scaling, was sich auch in einschlägigen Berufungen widerspiegelt. Gleiches gilt hinsichtlich der strategischen Ausrichtung der TUM: Als ein englischsprachiges, von mehreren Fakultäten getragenes Programm hat der Masterstudiengang CSE schon früh die disziplinären Barrieren überwunden und die international ausgerichtete Lehrstrategie der TUM antizipiert. Die Partnerschaft mit dem Masterstudiengang Computational Mechanics hat in gewisser Hinsicht das Instrument der Integrative Study Programs bzw. Professional Profiles vorweggenommen. Außerdem steht das Thema CSE im Kern der Forschungsstrategie der TUM, wie sich z.B. im Rahmen der Begutachtung des Zukunftskonzepts in der Exzellenzstrategie gezeigt hat.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über das Gesamtlehrportfolio der Fakultät für Informatik. Die Studienangebote gliedern sich in Bachelorstudiengänge, in daran unmittelbar anschließende Masterstudiengänge derselben Fachrichtung sowie in Masterstudiengänge mit spezialisierten Themengebieten:

Bachelor- und Masterstudiengänge an der Fakultät für Informatik

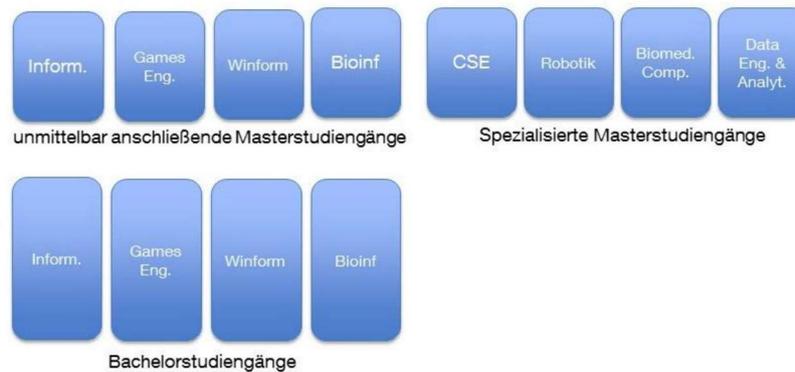


Abbildung 1: Studiengänge der Fakultät für Informatik

2 Qualifikationsprofil

Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs *CSE* sind in der Lage, anspruchsvolle Simulationsaufgaben aus Natur- oder Ingenieurwissenschaften durch den Einsatz moderner und effizienter Methoden aus Mathematik und Informatik erfolgreich zu bearbeiten. Durch das Anwenden von ausgewählten Simulationstechniken können sie die komplette Simulationspipeline bearbeiten – von der (mathematischen) Modellierung der Problemstellungen über die numerische Behandlung der Modelle, die Umsetzung der numerischen Algorithmen in effizienten parallelen Code bis hin zur Darstellung, Analyse und Validierung der Ergebnisdaten.

Stärker als Absolventinnen und Absolventen aus einer bestimmten Anwendungsdisziplin können *CSE*-Absolventinnen und Absolventen von der konkreten Simulationsaufgabe abstrahieren und sind zur Entwicklung neuer Verfahren ebenso befähigt wie zum Transfer des bestehenden Instrumentariums in völlig andere Gebiete. Im Besonderen sind *CSE*-Absolventinnen und Absolventen in der Lage, Methoden und Algorithmen der Simulationstechnologie an bestimmte Anwendungen anzupassen und somit diesen zugänglich zu machen.

Durch die interdisziplinäre Ausgestaltung des Studiengangs sind die *CSE*-Absolventinnen und Absolventen mit den speziellen Methoden, Herangehensweisen und Kompetenzschwerpunkten der unterschiedlichen beteiligten Disziplinen vertraut, können in interdisziplinären Teams arbeiten und damit eine Brückenrolle in Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten wahrnehmen.

Der Qualifikationsrahmen für Deutsche Hochschulabschlüsse (HQR) legt zur Charakterisierung erworbener Kompetenzen vier Kompetenzbereiche fest, (i) Wissen und Verstehen, (ii) Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen, (iii) Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität und (iv) Kommunikation und Kooperation. Die im Masterstudiengang *CSE* konkret vermittelten spezifischen Kompetenzen sind im Folgenden dargestellt.

HQR-Bereich i) Wissen und Verstehen

Die Absolventinnen und Absolventen verfügen über ausgewähltes Wissen aus dem Bereich der Informatik, das essenziell für die Arbeit mit und die Entwicklung von Simulationssoftware für Hochleistungsrechner ist: Sie kennen moderne Programmiersprachen und parallele Programmiermodelle, wissen um Möglichkeiten und Beschränkungen moderner Rechnerarchitekturen und verstehen wie sich der Einsatz der entsprechenden Sprachmittel auf das Laufzeitverhalten von modernen Hochleistungsrechnern auswirkt. Sie kennen moderne effiziente Algorithmen des Wissenschaftlichen Rechnens, die insbesondere auch für extrem rechenintensive Problemstellungen geeignet sind, und verstehen für welche Einsatzszenarien diese geeignet sind. Sie wissen um die Bedeutung strukturierter Softwareentwicklung und kennen wichtige Methoden des Software-Engineering.

CSE-Absolventinnen und Absolventen sind in der Lage, Probleme mittels mathematischer Modellierung formal zu beschreiben. Sie verstehen die gängigsten numerischen Verfahren zur Diskretisierung solcher Modelle und können geeignete Diskretisierungsverfahren für eine Problemstellung auswählen. Sie wissen um effiziente numerische Algorithmen (inkl. paralleler Algorithmen), um die entsprechenden diskreten Systeme zu lösen. Dabei können sie die Komplexität der ausgewählten Verfahren (bzgl. Rechenzeit und Skalierbarkeit, Speicherplatzbedarf, Programmieraufwand, etc.) korrekt einordnen und entsprechend Entscheidungen bei der Wahl eines geeigneten Verfahrens treffen.

Je nach Wahl der Anwendungs- und Wahlfächer (vgl. Kapitel 6) verfügen die Absolventinnen und Absolventen über Fachkompetenzen und Erfahrungen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen des CSE. Diese Anwendungsbereiche umfassen vertiefend mindestens eine konkrete ingenieur- oder naturwissenschaftliche Disziplin (Physik, Chemie, Elektrotechnik, Maschinenbau, uvm.), in der CSE zum Einsatz kommt. Je nach individueller Profibildung verfügen sie über weitere Erfahrungen in einem zweiten Anwendungsbereich, über weitergehende Methodenkompetenzen oder über vertiefte Kenntnisse zu allgemeinen Verfahren und Techniken (Finite Elemente, High Performance Computing, Visualisierung, Big Data, uvm.), die in mehreren CSE-Anwendungsfächern Verwendung finden.

HQR-Bereich ii) Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen

Die CSE-Absolventinnen und Absolventen können moderne Algorithmen des Wissenschaftlichen Rechnens in einem interdisziplinären Umfeld, d.h. für unterschiedliche rechenintensive Problemstellungen aus dem Bereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften anwenden. Sie können darüber hinaus neue Methoden entwickeln und bewerten. Sie sind in der Lage, Algorithmen auf Parallel- und Hochleistungsrechnern zu implementieren und zu optimieren. Auf diesen können sie umfangreiche Simulationsverfahren (inkl. Pre- und Processing) zum Einsatz bringen. Sie setzen geeignete technische Mittel und Methoden zur gemeinsamen strukturierten Software-Entwicklung ein. Algorithmen und Implementierungstechniken können sie auf verwandte Anwendungsgebiete und Fragestellungen übertragen.

Idealerweise haben sie, z.B. im Rahmen ihrer Masterarbeit, an einem interdisziplinären Forschungsprojekt mitgewirkt oder zu einer entsprechend forschungsnahen Problemstellung beigetragen und damit nachgewiesen, dass sie ihre Fähigkeit über einen größeren Teil der Simulationspipeline hinweg einsetzen und anwenden können sowie an ausgewählten Stellen den Stand der Technik verbessern können. Durch die Anwendung moderner Simulationstechniken auf und deren Erprobung an konkreten Anwendungsbereichen sind sie in der Lage, neue

wissenschaftliche und technische Fragestellungen zu adressieren und damit einen echten Mehrwert gegenüber dem Stand der Technik und somit neues Wissen zu erzeugen.

Die Absolventinnen und Absolventen sind zum wissenschaftlichen Arbeiten befähigt. Sie sind in der Lage, auf Basis des aktuellen Stands der Forschung Fragestellungen bzgl. weiterführender Probleme zu identifizieren, Forschungshypothesen zu formulieren und einen Forschungsplan aufzustellen.

HQR-Bereich iii) Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität

Durch den intensiven Kontakt mit verschiedenen Ausprägungen des CSE während ihres Studiums sind die Absolventinnen und Absolventen in der Lage, mit der notwendigen wissenschaftlichen Professionalität im Bereich CSE sowie im Rahmen konkreter CSE-Anwendungsfächer aufzutreten. Insbesondere kennen die Absolventinnen und Absolventen etablierte „Best Practices“ zur Validierung und Verifikation von Modellen und (parallelen) Implementierung. Sie sind in der Lage, wissenschaftliche Untersuchungen einschließlich der Datenerhebung (im Kontext von CSE beispielsweise durch Simulation, Performance-Analyse o.ä.), Datenaufzeichnung und Interpretation unter Verwendung adäquater Methoden (z.B. Visualisierung) und in der Community etablierter Standards durchzuführen. Die Wahl von Methoden und Ansätzen reflektieren sie kritisch und können diese gegenüber Kooperationspartnern begründen.

Die Absolventinnen und Absolventen haben die zentrale Bedeutung der Validierung von Modellen und die kritische Auseinandersetzung mit Modellvoraussetzungen verinnerlicht. Sie hinterfragen die Gültigkeit von Modellannahmen und sind sich der inhärenten Beschränkungen bewusst, denen deterministische Simulationen mit üblicherweise unvollständig bekannten Eingabedaten unterliegen. Sie sind sich der potentiell gravierenden Auswirkungen von Softwarefehlern bewusst und begegnen diese mit entsprechend Ansätzen zum strukturierten Programmieren und Testen. Entsprechend wissen sie um die Notwendigkeit des verantwortungsvollen Umgangs mit Simulationsergebnissen im jeweiligen Anwendungsumfeld (z.B. Sicherheitsanforderung im industriellen Kontext, ethische Konsequenzen von Simulationen, Akzeptanz entsprechender wissenschaftlicher Ergebnisse in der Gesellschaft).

Sie verfügen über ein berufliches Selbstbild, das geprägt ist von den individuellen Vertiefungsbereichen und der inhaltlichen Ausrichtung. Sie sind in der Lage, ihre Kenntnisse insbesondere in den Vertiefungsbereichen eigenständig zu erweitern und ihre theoretischen und methodischen Fähigkeiten weiterzuentwickeln.

HQR-bereich iv) Kommunikation und Kooperation

Die Absolventinnen und Absolventen können ihre wissenschaftlichen Resultate in angemessener Weise schriftlich und mündlich, sowohl gegenüber der eigenen wissenschaftlichen Community (inkl. der grundständigen Disziplinen, d.h. Informatik, Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften) als auch gegenüber Laien kompetent kommunizieren. Die Absolventinnen und Absolventen verfügen über vertiefte (insbesondere disziplinspezifische) englischsprachige Fachkenntnisse sowohl in Wort als auch in Schrift.

Besonders hervorzuheben ist das erlernte interdisziplinäre Arbeiten: Die CSE-Absolventinnen und Absolventen sind mit dem Fachvokabular und mit der Arbeits- und Sichtweise der verschiedenen Disziplinen auf Simulationsprobleme vertraut. Dadurch sind sie in der Lage, sich selbstständig Wissen aus unterschiedlichen Bereichen anzueignen, dieses zu kombinieren und entsprechend

nach Bedarf einzusetzen. Zusätzlich sind sie in Gruppenarbeit (v.a. im Scientific Computing Lab und Masterpraktikum CSE) in interdisziplinären und internationalen Teams geübt und haben die termingerechte Fertigstellung abgabefähiger „Produkte“ trainiert. Sie können komplexe und vielfältige Projektanforderungen in einer Gruppe mit unterschiedlicher kultureller Herkunft und wissenschaftlicher Spezialisierung kommunizieren und diskutieren und haben gelernt, in diesem Rahmen Konflikte zu lösen und Kompromisse zu finden. Sie können somit in einem wissenschaftlichen ebenso wie in einem industriellen Umfeld eine Brückenfunktion zwischen Domänenexpertinnen- bzw. -experten wahrnehmen. Zudem verstehen sie die mitunter gegensätzlichen Anforderungen bzw. Wünsche der einzelnen Disziplinen und können auch zwischen diesen abwägen und realisierbare Kompromisse finden.

3 Zielgruppen

3.1 Adressatenkreis

Der Masterstudiengang CSE richtet sich primär an Studieninteressierte, die einen Abschluss in einer klassischen Ingenieurdisziplin (Bauingenieurwesen, Maschinenbau, Elektrotechnik etc.), einer klassischen Naturwissenschaft (Physik, Chemie etc.) oder einem interdisziplinären Programm (Mechatronik etc.) an einer Universität oder einer Hochschule für angewandte Wissenschaften erworben haben und noch nicht schwerpunktmäßig mit der Methodik der Simulation in Berührung gekommen sind. Darüber hinaus bietet der Studiengang durch die Einbindung naturwissenschaftlicher und technischer Simulationsanwendungen in Einzelfällen auch Absolventinnen und Absolventen eines mathematischen oder informatischen Programms interessante Qualifikationsmöglichkeiten.

Der Masterstudiengang CSE ist primär für Studierende konzipiert, die Ihr Studium direkt nach einem Bachelor-Abschluss fortsetzen. Er richtet sich jedoch ebenfalls an Interessierte, die bereits einen Masterabschluss in einer klassischen Ingenieur- oder Naturwissenschaftlichen Disziplin besitzen, insbesondere auch von einer Hochschule für angewandte Wissenschaften, da solche Absolventinnen und Absolventen oftmals sowohl die fachliche Qualifikation als auch die nötige Motivation für den Studiengang CSE mitbringen. Dadurch erhöht sich die Diversität innerhalb der Studierenden. Dies harmonisiert mit dem Ziel der Technischen Universität München, den Zielgruppen beruflich Qualifizierte, Familienverpflichtete und Akademikerinnen und Akademiker im Berufsumfeld ein attraktives Studienangebot anzubieten.

3.2 Vorkenntnisse

Studieninteressierte ein starkes Interesse am rechnergestützten Arbeiten in der Wissenschaft im Allgemeinen sowie an Simulationstechnik im Besonderen mitbringen. Neben der Fähigkeit zu logischem Denken und Abstraktion sind vor allem das Erkennen von Zusammenhängen und Mustern sowie die fachübergreifende Verknüpfung von Wissen und Methoden gefragt. Fundierte Mathematikkenntnisse im Umfang einer mehrsemestrigen „Höheren Mathematik“, die im bisherigen Studium erworben wurden, sind unabdingbar für die Teilnahme am CSE-Masterstudium. Selbiges gilt für Programmierkenntnisse, idealerweise in einer modernen, objektorientierten Programmiersprache (vergleiche FPSO §36 und Anlage zum Eignungsverfahren). Disziplinspezifische, im Rahmen des vorangegangenen Bachelor- oder Masterstudiums erworbene Vorkenntnisse (aus einer Natur- oder Ingenieurwissenschaft, vgl. 3.1) sollten dem an der TUM etablierten Niveau entsprechen. Exemplarisch sind im Folgenden für die verbreitetsten grundständigen Bachelorstudiengänge Vorkenntnisse genannt, auf die besonderer Wert gelegt wird:

- Maschinenwesen: Technische Mechanik 1-3, Grundlagen der Thermodynamik, Fluidmechanik, Wärmetransportphänomene;
- Bauingenieurwesen: Technische Mechanik 1+2 für Bauingenieure, Statik 1+2, Hydromechanik, Bau-und Umweltinformatik 1+2;

- Elektrotechnik und Informationstechnik: Elektrotechnik und Informationstechnik, Physik für Elektroingenieure, Festkörper-, Halbleiter- und Bauelementephysik, Elektromagnetische Feldtheorie;
- Physik: Experimentalphysik 1-4, Theoretische Physik 1-3 (jeweils insbes. Klassische/Quanten-Mechanik, Elektromagnetismus, Thermodynamik);
- Chemie: Anorganische/Organische Chemie, Grundlagen der Physikalischen/Analytischen/Technischen Chemie, Experimentalphysik, Quantenmechanik.

Da es sich um einen internationalen Masterstudiengang handelt, werden alle Module im Kernbereich (Kataloge A, B und C) sowie alle Anwendungsfächer aus den Katalogen im Wahlbereich D in englischer Sprache angeboten. Dies gilt ebenso für die allermeisten Module aus dem Wahlbereich E. Spezielle Wahlmodule können auf Wunsch auch in deutscher Sprache belegt werden. Der Nachweis fundierter Englischkenntnisse ist zwingend notwendig und erfolgt üblicherweise durch einen international anerkannten Sprachtest (z.B. „Test of English as a Foreign Language“, TOEFL). Alternativ wird auch das Verfassen einer englischsprachigen Abschlussarbeit im Rahmen des vorhergehenden Bachelorstudiengangs als Nachweis anerkannt.

Es gibt keinen prädestinierten Bachelorstudiengang an der TUM, dessen Absolventinnen und Absolventen konsekutiv ihre Ausbildung in CSE fortsetzen. CSE ist jedoch eine mögliche Spezialisierung für alle natur- und ingenieurwissenschaftlichen TUM-Bachelorprogramme, insbesondere für den Bachelorstudiengang Ingenieurwissenschaften.

3.3 Zielzahlen

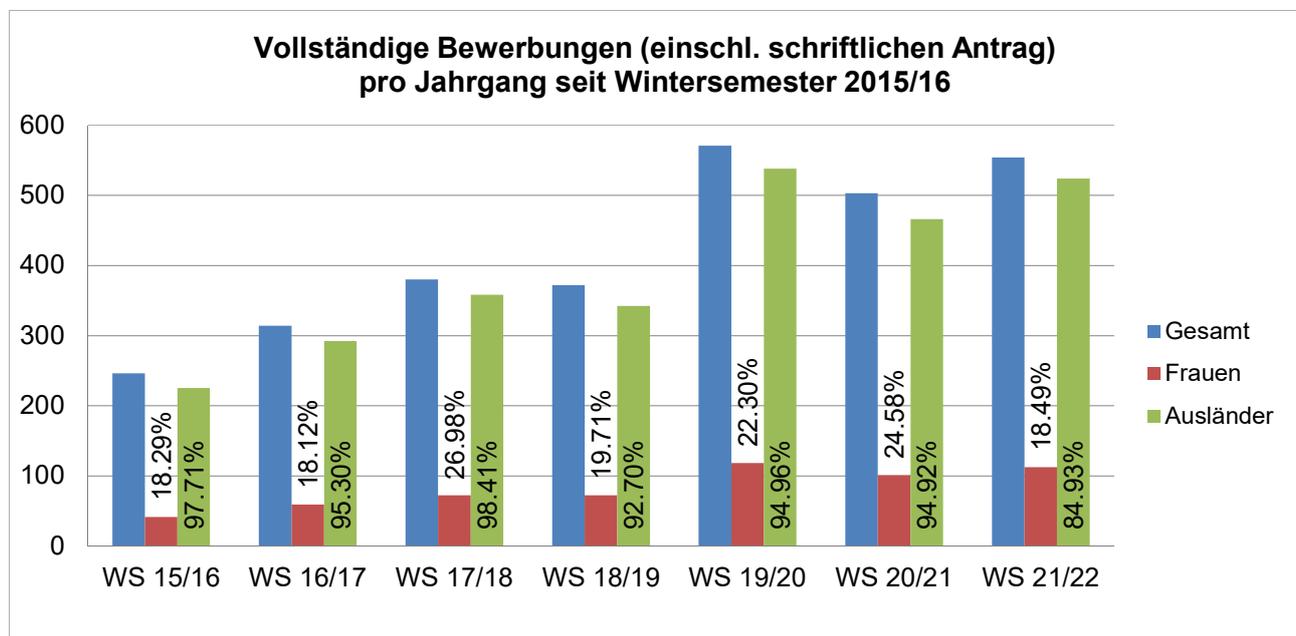


Abbildung 2: Vollständige Bewerbungen pro Wintersemester seit dem Wintersemester 2015/16

Aufgrund der internationalen Ausrichtung des Masterstudiengangs CSE (alle Kern- und ein Großteil der Wahlmodule werden in englischer Sprache angeboten, die Masterarbeit soll in englischer Sprache verfasst werden, die Betreuung und Koordination des Studiengangs erfolgen in englischer

Sprache) ist der Anteil internationaler Bewerberinnen und Bewerber bzw. internationaler Studierender sehr hoch (jedes Jahr deutlich über 50%).

Der erste Kontakt von interessierten Bewerberinnen und Bewerbern erfolgt über das Campusmanagementsystem TUMonline, das mittlerweile jedes Jahr weit über 400 Interessierte nutzen. Die Anzahl der dann tatsächlich eingehenden Bewerbungen stieg in den letzten Jahren stark an und bewegt sich mittlerweile bei über 250 Bewerbungen pro Jahr. Dies ist ein Zeichen, dass CSE auch bei den Bewerberinnen und Bewerbern eine immer größere Rolle spielt, denn auch die Zahl der eingegangenen vollständigen Bewerbungen steigt.

Die angestrebte Stärke eines Jahrgangs beträgt ca. 30 bis 50 Studierende, was diverse Vorteile hat: Es ermöglicht den Dozentinnen und Dozenten, individuell auf die Bedürfnisse, Anliegen und Wünsche der Studierenden einzugehen. Für den sozialen Zusammenhalt innerhalb der Gruppe ist die Zahl optimal, da einerseits keine Anonymität aufkommt, andererseits eine genügend große Diversität der Studierenden sichergestellt ist. In der Vergangenheit hat sich diese Größe bewährt.

In der Regel erfüllen jährlich zwischen 40 und 80 Bewerbungen alle Bewerbungskriterien und führen zu einer Zulassung zum CSE-Studium, wobei diese Zahl in den letzten Jahren – aufgrund der gestiegenen Bewerberzahlen – ebenfalls wächst. Von diesen Zulassungen führen erfahrungsgemäß ca. 70% auch zur Studienplatzannahme. Hauptursachen für die auf den ersten Blick gering erscheinende Studienplatzannahmequote sind Finanzierungs- und Visaprobleme ausländischer Bewerberinnen und Bewerber, in Einzelfällen auch Mehrfachbewerbungen an verschiedenen Universitäten. Um letzterem Problem zu begegnen, findet die Bewertung der eingegangenen Bewerbungen durch die Bewerbungskommission bereits ab Februar statt und nicht erst zum Bewerbungsschluss Ende Mai. Somit können auch die Zusagen zum Studiengang früher erteilt werden, um anderen Universitäten zuvorzukommen.

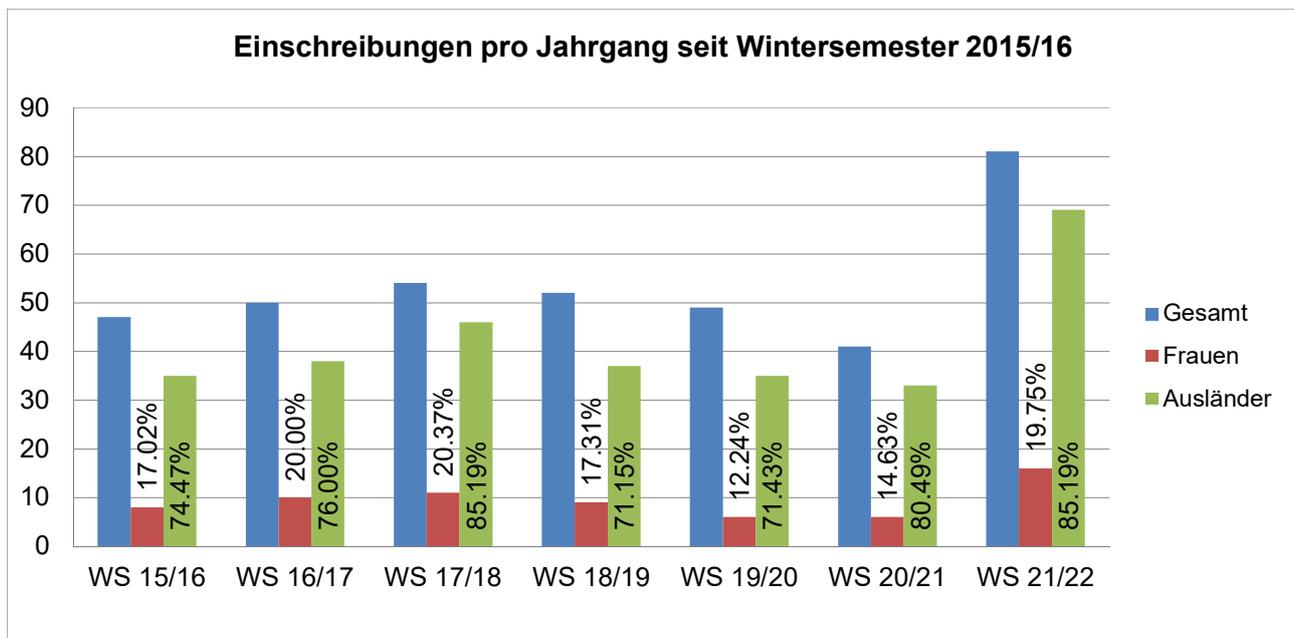


Abbildung 3: Einschreibungen pro Wintersemester seit dem Wintersemester 2015/16

Aufgrund der vornehmlich internationalen Herkunft der Studierenden können politische, ökonomische oder soziale Ereignisse und Entwicklungen – weltweit oder in bestimmten Herkunftsländern – zu Fluktuationen bei den Bewerber- und Zulassungszahlen führen. Nicht zuletzt stehen die Jahrgänge für die Wintersemester 20/21 und 21/22 beide unter massivem Einfluss der COVID-19-Pandemie.

Es ist zudem festzustellen, dass die Anzahl der CSE-Studierenden kontinuierlich zugenommen hat. Der Zielbereich von 70 bis 150 aktiven Studierenden (über alle Studiensemester hinweg), bewegt sich in genau dem Rahmen, für den eine optimale Betreuung sichergestellt ist (siehe oben und Ressourcen). Da die Anfängerzahl im mehrjährigen Schnitt bei 30 bis 50 Studierenden pro Jahrgang liegt, ist nicht davon auszugehen, dass der Zielbereich langfristig über- oder unterschritten wird.

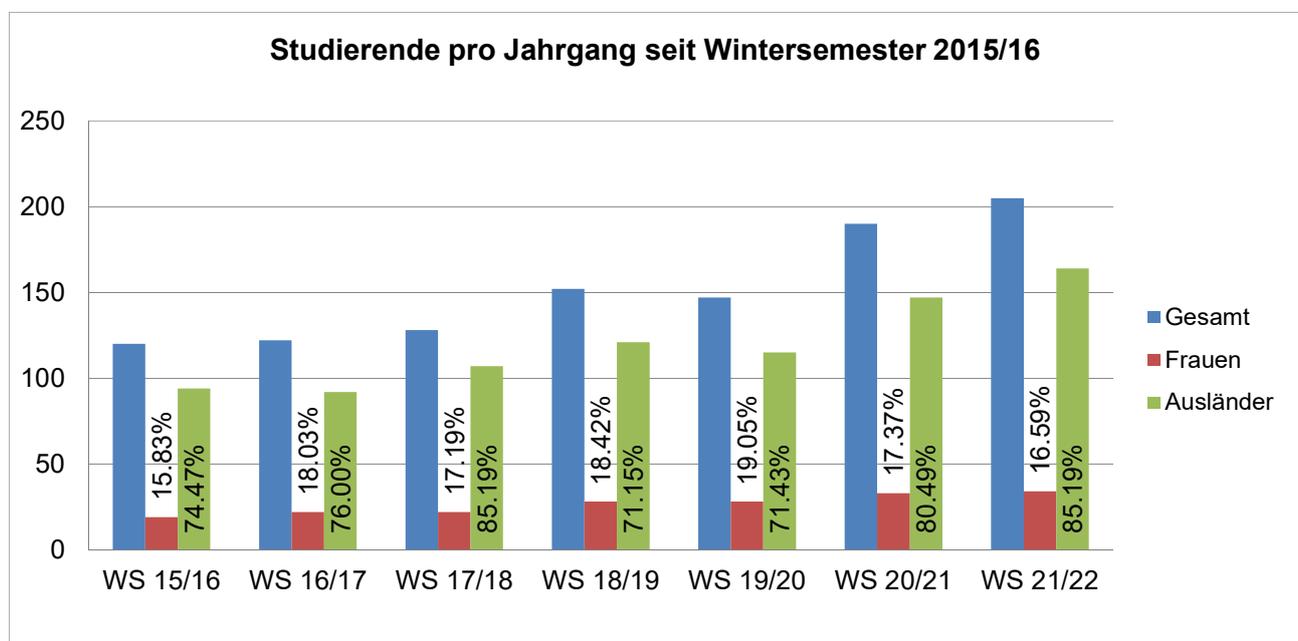


Abbildung 4: Studierende pro Jahrgang seit dem Wintersemester 2015/16.

Vergleicht man die Zahlen der Absolventinnen und Absolventen in Abbildung 5 mit den Zahlen der eingeschriebenen Studierenden in Abbildung 3, so zeigt sich, dass die Abbruchquote niedrig ist.

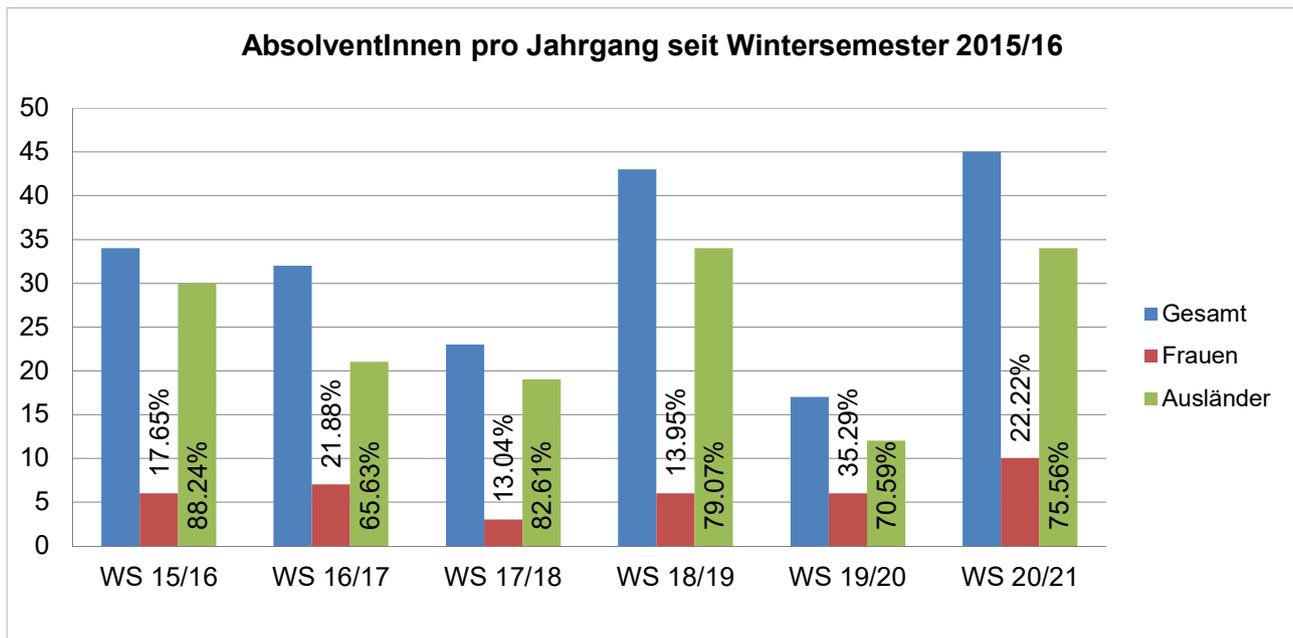


Abbildung 5: Absolventinnen/Absolventen pro Jahrgang seit dem Wintersemester 2015/16.

Zwar ist aufgrund der individuellen Studiendauer der einzelnen Studierenden von bis zu sechs Semestern ein direkter Vergleich der einzelnen Jahre nicht möglich, vergleicht man jedoch die Zahlen über einen längeren Zeitraum mit einem Versatz von zwei Jahren zwischen Einschreibungen und Abschlüssen, so ist dies offensichtlich. Dies spricht sowohl für die Zulassungskriterien als auch für eine effektive Betreuung der Studierenden durch die Verantwortlichen des Studiengangs.

4 Bedarfsanalyse

Durch die gestiegene Bedeutung von Simulationen – in der Wissenschaft ebenso wie im Bereich der industriellen Forschung und Entwicklung – hat sich das Berufsbild des „Computational Scientists“ oder „Computational Engineers“ fest etabliert. Neben den klassischen wissenschaftlichen Institutionen (Hochschulen, Großforschungseinrichtungen, Max-Planck-Institute etc.) werden somit auch in der Industrie in Unternehmen jeder Größenordnung diesbezüglich Expertinnen und Experten gesucht. Der steigende Bedarf an CSE-Absolventinnen und Absolventen äußert sich unter anderem in der Tatsache, dass zahlreiche Studierende parallel zu ihrem Studium ein freiwilliges Praktikum oder eine Werksstudententätigkeit in der Industrie absolvieren und dabei bei ihrer Suche nach einem entsprechenden Unternehmen schnell fündig werden. Ein weiteres Indiz ist, dass Studierende für eine thematisch passende Masterarbeit oftmals in der Industrie fündig werden. Das legt den Schluss nahe, dass seitens der Firmen eine große Nachfrage nach CSE-Studierenden besteht.

Abbildung 6 führt Unternehmen auf, bei denen Absolventinnen und Absolventen des CSE-Masterstudiengangs (Jahrgänge 2016-21) nach ihrem Studium ihre erste Arbeitsstelle gefunden haben. In vielen dieser Firmen haben Studierende Masterarbeiten angefertigt. Oft werden Absolventinnen oder Absolventen im Anschluss an ihre Masterarbeit übernommen. Ebenso immer häufiger betreuen ehemalige Absolventinnen bzw. Absolventen Masterarbeiten mit einem Industrie-Thema. Die Bearbeitung typischer Aufgabenstellungen in Masterarbeiten erfordert dabei genau das bereits geschilderte Wissen und die Kompetenzen (wie z.B. die Modellierung eines Problems, die

Implementierung einer Simulationssoftware für Spezialarchitekturen oder die Interpretation von Simulationsergebnissen), die im CSE-Studium vermittelt werden. Nicht zuletzt setzt auch ein erheblicher Anteil der Absolventinnen und Absolventen (ca. 25%, siehe nächster Abschnitt) die wissenschaftliche Karriere im Rahmen eines Promotionsprojekts fort, am häufigsten in den Bereichen Informatik, Maschinenwesen und Mathematik.

Eine im Winter 2020/21 durchgeführte, nicht-repräsentative Umfrage unter ehemaligen CSE-Studierenden ergab außerdem, dass alle Befragten, die sich an der Umfrage beteiligt haben (knapp 20 Alumni), eine attraktive Stelle am Arbeitsmarkt gefunden hatten, die überwiegende Mehrheit innerhalb von nur drei Monaten. Knapp einem Viertel der Absolventinnen und Absolventen traten die Stelle innerhalb eines Monats nach Beendigung ihres Studiums an. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich in früheren Umfragen und aus direkten Rückmeldungen von Studierenden (z.B. bei der jährlichen Graduation Ceremony).

Die Umfrage ergab darüber hinaus, dass etwa 70% der Befragten nun in einem CSE-verwandten Bereich arbeiten und dass ihre im Studiengang erworbenen Kompetenzen wichtiges Kriterium für ihre Einstellung waren. 20% aller Absolventinnen und Absolventen setzte ihre Karriere mit einer Promotion fort (frühere Umfragen ergaben bis zu einem Drittel) und über 60% sind im Bereich Forschung & Entwicklung tätig. Diejenigen, die nach dem Studium nicht in einem CSE-Umfeld im engeren Sinne tätig sind, finden sich in klassischen Informatik- (z.B. IT/Telekommunikation) oder Ingenieurbereichen (z.B. Automobil) aber auch in Beratungsunternehmen wieder.

Diejenigen, die eine Stelle im CSE-Umfeld gefunden haben, berichten übereinstimmend, dass sie während ihres Studiums gut oder sehr gut auf ihre Tätigkeit vorbereitet wurden. Dies zeigt deutlich, dass der Studienplan (siehe Aufbau des Studiengangs in Abschnitt 6) die wesentlichen CSE-relevanten Themen abdeckt und den Studierenden so sowohl theoretische Grundlagen als auch Praxisbezug für das Berufsleben vermittelt werden.

Während bei der Einrichtung des Masterstudiengangs im Jahr 2001 von Seiten der Industrie noch vornehmlich Absolventinnen und Absolventen klassischer Disziplinen wie Informatik, Mathematik, Maschinenbau, Physik, Chemie usw. gesucht wurden, hat sich dieses Bild mittlerweile gewandelt. Die Anzahl von Ausschreibungen, die sich gezielt an Berechnungsingenieure wendet, nimmt stetig zu. Dies wird von Firmen wie von den CSE-Absolventinnen und Absolventen bestätigt.

Bereich	Firmenbeispiele
Electronics / Semiconductors	Hitachi, Infineon, Hewlett Packard
Automotive	Audi, BMW
Aviation, Aeronautics	DLR, Airbus, Lilium
Maschinenbau	IABG Industrieanlagen
Software Engineering	IBM, Intel, Google, Microsoft, Dassault Systèmes
Strömungssimulation	Simscale
Medizin / Medizintechnik	AstraZeneca, Siemens, Brainlab
Forschungseinrichtungen / -institute	Helmholtz Zentrum, Max-Planck-Institut, CERN, Fraunhofer Institute
Consulting	Bull/Atos, Capgemini
Information Technology	Rohde & Schwarz, KINEXON

Abbildung 6: Exemplarische Auflistung von Branchen und Firmen mit Bedarf an CSE-Absolventinnen und Absolventen. Aufgeführt sind Firmen, bei denen CSE-Studierende der TUM nach Abschluss ihres Studium ihre erste Arbeitsstelle gefunden haben (Statistik umfasst Studierende, die zwischen 2016 und 2021 abgeschlossen haben und deren erste Arbeitsstelle der Studiengangsorganisation bekannt sind; KMUs sind nur genannt, wenn sie mehrere Absolventinnen bzw. Absolventen beschäftigen).

Abbildung 6 listet exemplarische Branchen und Firmen auf, bei denen CSE-Studierende direkt nach Abschluss ihres Studiums ihre erste Arbeitsstelle gefunden haben. Diese Firmen decken unterschiedliche Sparten ab, für die CSE-Studierende ausgebildet werden. Die hohe Nachfrage nach Absolventinnen und Absolventen mit umfassendem professionellen Fach- und Methodenwissen in der Computersimulation sowie weitreichenden Anwendungskompetenzen (Anwenden von Simulationstechniken) gilt auch auf internationaler Ebene. Viele der oben genannten Firmen agieren global, zahlreiche renommierte Universitäten in Europa, den USA und weltweit bieten inzwischen Computational-Programme an, und die großen internationalen Fachorganisationen wie SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics) haben einschlägige Untergruppen eingerichtet (z.B. die SIAM CSE Activity Group).

5 Wettbewerbsanalyse

5.1 Externe Wettbewerbsanalyse

Durch die gestiegene Bedeutung des rechnergestützten Zugangs in nahezu allen Technologie-relevanten Bereichen gehören Studienangebote im Bereich CSE sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene zum Standard-Portfolio technischer Universitäten. Zahlreiche hervorragend aufgestellte Universitäten haben das Thema „Computational“ in Hochschulstrukturen münden lassen, so z.B. die University of Texas at Austin mit dem Oden Institute for Computational Engineering and Sciences, die University of Utah mit dem Scientific Computing and Imaging Institute, oder das Georgia Institute of Technology mit seiner School of Computational Science and Engineering. Zudem haben sich einige sichtbare Neugründungen des frühen 21. Jahrhunderts wie die King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) oder das Skolkovo Institute of Science and Technology (SkoTech) einschlägige Strukturelemente gegeben. Aus dem interdisziplinären Gebilde CSE ist somit eine neue Disziplin entstanden, die zum Standard-Portfolio technischer Universitäten gehört. In Deutschland bieten aktuell (Stand: 2021) acht der neun der TU9-Universitäten (mindestens) einen „Computational“-Masterstudiengang an:

RWTH Aachen University	Computational Engineering Science (deutsch)
TU Berlin	Computational Engineering Science (deutsch), Scientific Computing (englisch)
TU Braunschweig	Computational Sciences in Engineering (50% deutsch, 50% englisch)
TU Darmstadt	Computational Engineering (deutsch)
TU Dresden	Computational Modelling and Simulation (englisch)
Leibniz Universität Hannover	Computational Methods in Engineering (deutsch und englisch)
Universität Stuttgart	Simulation Technology (deutsch)

Hierbei kann einerseits zwischen Studiengängen mit einer Orientierung auf ein bestimmtes Simulationsanwendungsgebiet (Computational Physics, Computational Mechanics, Computational Neuroscience etc.) und einer Orientierung auf Simulationsgrundlagen (CSE, Computational Science, Computational Engineering, Simulationstechnologie) unterschieden werden. Andererseits werden im Bereich CSE sowohl „klassische“ Masterstudiengänge (z.B. RWTH Aachen, TU Darmstadt, FAU Erlangen-Nürnberg, Universität Stuttgart, ETH Zürich etc.) als auch Graduierten-Programme angeboten (TU Dresden, TU Braunschweig, TU Kaiserslautern etc.). Der Master CSE an der TUM hat eine anspruchsvolle Forschungsorientierung und setzt seinen Fokus auf die Simulationstechniken selbst, ohne die konkreten Anwendungen in verschiedenen Bereichen außen

vorzulassen. Hervorzuheben ist, dass der Master CSE mit seiner Ausrichtung auf numerische Simulation optimal auf in unterschiedlichen Bachelorstudiengängen (Bauingenieurwesen, Maschinenwesen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Ingenieurwissenschaften, Physik, Chemie oder Mathematik) erworbenen Vorkenntnissen aufsetzt.

Im Vergleich zu anderen CSE-Studiengängen ist die internationale Ausrichtung des Master CSE hervorzuheben (vgl. Tabelle der TU9-Studiengänge), ebenso das umfangreiche, interdisziplinäre Modulangebot und die entsprechenden Vertiefungsmöglichkeiten in unterschiedlichen Natur- und Ingenieurwissenschaften. Ein Alleinstellungsmerkmal stellt in Deutschland die starke Orientierung auf das Parallele- und das Hochleistungsrechnen dar, die sich aus den einschlägigen Forschungsschwerpunkten der Fakultät für Informatik und aus deren engen Anbindung an das Leibniz-Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ergeben. Hierzu gehört auch die Betonung des Software Engineerings im Studiengang (als Komponente des Masterpraktikums Computational Science and Engineering sowie als Wahlmodul „Patterns in Software Engineering“).

Auf nationaler Ebene sind als „Haupt-Wettbewerber“ des CSE-Studiengangs die bereits oben genannten Studiengänge der technischen bzw. technisch ausgerichteten Universitäten anzuführen. Auf internationaler Ebene sind die ETH Zürich, die University of Texas at Austin, das Georgia Institute of Technology, das MIT oder die University of Utah zu nennen. Insbesondere in den USA gehört CSE auf Ebene der Graduate Schools mittlerweile zum Standard der hochklassigen Universitäten. Dass sich der Masterstudiengang CSE auf Augenhöhe mit diesen Programmen bewegt, sieht man u.a. daran, dass viele TUM-Studierende ihre Masterarbeiten in Kooperation mit diesen Universitäten anfertigen. Zudem gibt es seitens der TUM-Absolventinnen und Absolventen eine hohe Attraktivität für Promotionsprogramme oder Postdoc-Aufenthalten an den internationalen Top-Adressen.

Auf europäischer Ebene verdeutlicht die 2021 erfolgte [Ausschreibung](#) einer EuroHPC „Coordination and Support Action“ zur Implementierung von Pilot-Programmen für einen European Master of Science (MSc) for High Performance Computing die hohe Relevanz der Orientierung des CSE-Masterprogramms in Richtung High Performance Computing (HPC) mit den folgenden zentralen Zielen:

- *Educate students able to contribute in areas such as the design, deployment, operation, and/or the use of current and future generation HPC and HPC-related technologies in Europe.*
- *Educate experts skilled in driving HPC adoption and knowledge transfer in industry and academia in different strategic domains, thereby linking HPC activities in industry and academia.*

Beide Aspekte werden durch den CSE-Masterstudiengang bereits erfüllt.

5.2 Interne Wettbewerbsanalyse

Folgende Masterstudiengänge der TUM weisen Schnittmengen mit dem Masterstudiengang CSE auf: Master *Informatik*, Master *Data Engineering and Analytics*, Master *Mathematics in Science and Engineering* sowie der Master *Computational Mechanics*. Trotz thematischer Schnittmengen ist CSE als eigene Disziplin kein Teilbereich der Informatik oder der Mathematik (und jeweils umgekehrt).

Hinsichtlich Zielsetzung und Profil unterscheidet sich der Masterstudiengang CSE daher deutlich vom Master *Informatik*. CSE bedient sich zahlreicher Werkzeuge aus der Informatik (z.B. Algorithmen und Datenstrukturen, Parallelprogrammierung, Rechnerarchitektur, usw.); die entsprechenden Kenntnisse werden in Modulen des Bereichs Informatik vermittelt. Wesentliche Aspekte des CSE wie Visualisierung, High Performance Computing, usw. sind originär ebenso der Informatik zuzuordnen, weshalb sich zahlreiche Module der Informatik als Wahlmodule im CSE-Curriculum finden. Jedoch handelt es sich hier nur um eine Komponente innerhalb des multidisziplinären Bereichs des CSE. Zahlreiche Aspekte/Bereiche der Informatik spielen in CSE keine oder nur eine untergeordnete Rolle und werden hingegen im Master *Informatik* vermittelt (z.B. Betriebssysteme, Compiler, Theoretische Informatik, Automatisierung, usw.).

Im Masterstudiengang *Data Engineering and Analytics* steht die Entwicklung datenbezogener Methoden (Data Analysis) im Vordergrund. Der Schwerpunkt im Studiengang CSE liegt auf den mathematischen und informatischen Werkzeugen, die für entsprechende CSE-Anwendungen notwendig und hilfreich sind. Dazu gehören unter anderem Aspekte von Big Data (im Wahlbereich, Katalog E).

Im Studiengang *Mathematics in Science and Engineering* werden Mathematikerinnen und Mathematiker mit Interesse an der Entwicklung neuer mathematischer Methoden und deren Anwendung auf technisch-naturwissenschaftliche Fragestellungen ausgebildet. Der Master CSE vermittelt Studierenden eine etwas weniger tiefe mathematische Ausbildung und setzt dafür – im Sinne der Interdisziplinarität des Bereichs CSE – einen zusätzlichen Schwerpunkt bei Grundlagen der Softwareentwicklung und Informatik. Im Studiengang *Mathematics in Science and Engineering* hingegen liegt der Schwerpunkt auf der mathematisch fundierten Analyse der verwendeten Algorithmen (Numerical Analysis).

Große Gemeinsamkeiten haben der Master CSE und der Master *Computational Mechanics* (COME). Während COME jedoch im Ingenieurwesen angesiedelt ist und stark auf Anwendungen aus der Mechanik spezialisiert ist, die computergestützte Methoden einsetzen, stehen im Master CSE genau diese Methoden und deren (Weiter-)Entwicklung im Fokus. Die Szenarien, die mit diesen Methoden behandelt bzw. unterstützt werden, können sich jedoch über die ganze Bandbreite der ingenieur- und naturwissenschaftlichen Anwendungen erstrecken und sind nicht auf die Mechanik beschränkt (vgl. auch Kataloge der Kategorie D in Abschnitt 6). Durch die Kooperation mit COME ergeben sich aber auch fachliche Synergien: So können CSE-Studierende ausgewählte Module besuchen, die für den Masterstudiengang COME angeboten werden und sich als Wahlmodul anrechnen lassen. Vor allem für den Katalog D1 „Computational Mechanics“ ist dies möglich. Oft verfassen CSE-Studierende ihre Master’s Thesis an einem der in COME involvierten Lehrstühle. Aufgrund der tendenziellen Ausrichtung auf die methodischen Grundlagen im Studiengang CSE und der eher anwendungsorientierten Ausrichtung vom Master COME ist dies problemlos möglich und erlaubt den Studierenden zusätzliche Einblicke.

6 Aufbau des Studiengangs

Um dem stark interdisziplinären Charakter von CSE als Disziplin gerecht zu werden, richtet die Fakultät für Informatik den Master CSE in enger Kooperation mit sechs weiteren TUM-Fakultäten (Mathematik, Maschinenwesen, Bau Geo Umwelt, Elektrotechnik und Informationstechnik, Chemie

und Physik) aus². Im Vergleich zu anderen „Computational“-Studiengängen legt der Master CSE den Schwerpunkt im Kern-Curriculum auf die methodischen Grundlagen des rechnergestützten Ansatzes aus Mathematik und Informatik, und nicht auf die spezifischen Probleme einer konkreten Simulationsdomäne. Diese werden von den Studierenden im Wahlcurriculum vertieft behandelt, bei dem mindestens ein Vertiefungsgebiet gewählt wird, das eine starke Orientierung auf rechnergestützte Ingenieur- oder Naturwissenschaften aufweist.

Neben der stark methodischen Ausrichtung legt der Studiengang einen weiteren Schwerpunkt auf das Hochleistungsrechnen (siehe Pflichtmodul „Parallel Programming“). Dies ist in der immer stärker wachsenden Nutzung von Hoch- und Höchstleistungsrechnern sowie im Einsatz spezieller Rechnerarchitekturen zur Realisierung umfangreicher Simulationsaufgaben begründet.

Über die zentrale Säule der Module aus dem Bereich „Scientific Computing“ werden nicht nur die drei Bereiche Informatik, Angewandte Mathematik sowie Natur- und Ingenieurwissenschaften zusammengeführt, sondern wichtige praktische, überfachliche und persönlichkeitsbildende Fähigkeiten integriert; zugleich werden prägende Elemente der Interdisziplinarität und Internationalität vermittelt.

Die Regelstudienzeit für den Master CSE beträgt vier Semester (120 Credits). In den ersten drei Semestern ist der Besuch von Vorlesungen, Übungen, Seminaren und Praktika (zusammengefasst in Pflicht- und Wahlmodulen) im Umfang von jeweils 30 Credits vorgesehen, im vierten Semester die Erstellung der Masterarbeit (30 Credits).

Der vergleichsweise hohe Pflichtmodulanteil im Studiengang ist einerseits in der großen Heterogenität der Studierendenzielgruppe begründet (unterschiedliche Bildungsherkunft, Bachelor-Ausbildung, etc.; siehe 3.1), andererseits in der Multidisziplinarität des Feldes CSE und im danach ausgerichteten Qualifikationsprofil der Absolventinnen und Absolventen, das – trotz individueller Schwerpunktsetzung/Profilbildung – für Berechnungsingenieurinnen und Berechnungsingenieure essentielle Fähigkeiten und Fertigkeiten aus verschiedenen Bereichen (Informatik, Angewandte Mathematik und Wissenschaftliches Rechnen) beinhalten muss.

6.1 Erläuterung der Module

Gegliedert ist das Studium in fünf Bereiche: Informatik, Angewandte Mathematik, Wissenschaftliches Rechnen, sowie Anwendungs- und Wahlfächer. Die Bereiche Informatik, Angewandte Mathematik und Wissenschaftliches Rechnen enthalten die Kernmodule des Curriculums. Die Bereiche Informatik und Angewandte Mathematik enthalten – neben Pflichtmodulen im Umfang von 10 Credits – jeweils zwei Wahlkataloge (mit drei bzw. vier Modulen), aus denen Wahlmodule im Umfang von mindestens 10 Credits (Informatik) bzw. 16 Credits (Angewandte Mathematik) zu erbringen sind.³ Der Bereich Wissenschaftliches Rechnen (Scientific Computing) umfasst Pflichtmodule im Umfang von 31 Credits. Die Anwendungs- und Wahlfächer bilden jeweils einen Wahlbereich, aus denen gemeinsam die restlichen Credits zu erbringen sind (in der Regel im Umfang von 23 Credits).

² Der Studiengang wird im neuen Schoolsystem der TUM formal der School of Computation, Information and Technology (CIT) zugeordnet sein; schoolübergreifend ist zugleich ein PP Computational geplant, in dem sich die beteiligten Schools (CIT, School of Engineering and Design (ED), School of Natural Sciences (NAT) zusammenfügen werden.

³ Der Prüfungsausschuss aktualisiert fortlaufend die Fächerkataloge der Wahlmodulbereiche Informatik und Angewandte Mathematik.

Der Bereich Wissenschaftliches Rechnen (Scientific Computing) bildet die zentrale, integrative Säule des Studiengangs und befindet sich an zentraler Stelle im Studienplan. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass CSE als interdisziplinäres Fach mehr als nur die Summe seiner Teile (Informatik, Angewandte Mathematik und Anwendungen) ist. Er verbindet die Säulen Informatik, Angewandte Mathematik und Anwendungsfächer und stellt sicher, dass essentielle Grundlagen verknüpft, Beispiele für das Durchlaufen der Simulationspipeline aufgezeigt und spezifisches Zusatzwissen (z.B. spezielle Diskretisierungstechniken oder alternative Ansätze) vermittelt werden. Darüber hinaus werden überfachliche Kompetenzen (Sozial-, Selbst- und Handlungskompetenzen) trainiert, die zur Persönlichkeitsbildung der Studierenden, zur Ausprägung des beruflichen Selbstbildes in CSE und insbesondere zu einem verantwortungsethischen Bewusstsein für CSE-spezifische Standards im beruflichen Handeln und in der wissenschaftlichen Forschung beitragen. Gerade für eine junge Disziplin wie dem Wissenschaftlichen Rechnen ist es essenziell, dass diese Kompetenzen nicht isoliert, sondern im engen Zusammenhang mit der fachlichen Ausbildung vermittelt und eingeübt werden. Hierfür sind insbesondere die projekt- und präsentationsorientierten Module (Scientific Computing Lab, CSE Seminar, Masterpraktikum CSE; zusammen 21 Credits) verantwortlich.

Die **im ersten Semester** zu belegenden Pflichtmodule im Bereich Wissenschaftliches Rechnen (Scientific Computing) stellen zum einen sicher, dass die Studierenden die für die (numerische) Simulation grundlegend wichtigen Kompetenzen und Kenntnisse im Bereich der Numerik vermittelt bekommen. In den Modulen „Scientific Computing 1“ (5 Credits) und „Scientific Computing Lab“ (6 Credits) werden wesentliche numerische Methoden und deren typische Eigenschaften im Anwendungskontext vermittelt und deren praktische Umsetzung eingeübt. Darüber hinaus spielen bereits im Modul „Scientific Computing Lab“ Aspekte der Teamarbeit, kommunikative Fähigkeiten bei der Darstellung von wissenschaftlichen Ergebnissen (Präsentation) sowie die Diskussion über die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen eine tragende Rolle. In Modul „Scientific Computing 1“ werden anhand konkreter Fallbeispiele sowie mit Blick auf Best Practices auch Fragen zur Aussagekraft und Limitierungen von Modellen und Simulationsergebnissen, aber auch von Akzeptanz und ethischen Implikationen von Simulationen und Simulationsergebnissen – sowohl in der wissenschaftlichen Community als auch in der Gesellschaft – diskutiert.

Im Bereich Informatik (Computer Science) werden durch das Pflichtmodul „Advanced Programming“ (5 Credits) notwendige Grundlagen für die spätere (ab dem 2. Semester) Weiterqualifikation im Bereich des High Performance Computing gelegt – insbesondere, dass die Studierenden die methodisch saubere und (im Hinblick auf die erzielte Rechenleistung) Entwicklung von Simulationssoftware mittels einer objektorientierten Programmiersprache erlernt haben und Techniken beherrschen, die Qualität der Software bzgl. Zuverlässigkeit, Wiederverwendbarkeit und Effizienz zu untersuchen.

Die für das erste Semester vorgesehenen Wahlmodule aus dem Bereich Informatik („Grundlegende Algorithmen“ und „Rechnerarchitektur“) sind insbesondere den Studierenden zu empfehlen die in ihrem vorangegangenen Bachelorstudium noch keine entsprechenden Informatik-Kenntnisse erworben haben. Beide Wahlmodule vermitteln wichtige Grundlagen für die nachfolgenden Pflicht- und Wahl-Module des zweiten und dritten Semesters (insbes. „Parallel Programming“ und „Numerical Algorithms for High Performance Computing“).

Das Wahlmodul „Numerical Programming 1“ aus dem Bereich Angewandte Mathematik wird für ein tieferes Verständnis mathematischer Prinzipien des Numerischen Programmierens und Anwendung

grundlegender numerischer Algorithmen zudem allen Studierenden empfohlen, die derartige Fähigkeiten/Kompetenzen im Rahmen ihres Bachelor-Studiengangs noch nicht erworben haben.

Neben einer persönlichen Spezialisierung der Studierenden in den Anwendungs- und Wahlfächern sehen die übrigen Module im **zweiten und dritten Semester** eine Vertiefung der informatischen (Pflichtmodul „Parallel Programming“ 5 Credits, Informatik Wahlmodule) und mathematischen (z.B. Wahlmodule Numerical Programming 2, 8 Credits und Numerical Algorithms for High Performance Computing, 8 Credits) Kenntnisse und Fähigkeiten vor. Das Pflichtmodul „Parallel Programming“ spiegelt hierbei die starke Fokussierung des CSE-Studiengangs auf das High Performance Computing wider: die vermittelten fortgeschrittenen Programmierfähigkeiten, die für die Nutzung von parallelen Hochleistungsrechnern erforderlich sind, sind Voraussetzung für die Bewältigung großer Simulationsaufgaben.

In den Wahlmodulbereichen Informatik (Computer Science) und Angewandte Mathematik (Applied Mathematics) können je nach individueller Schwerpunktsetzung verschiedene Aspekte des Wissenschaftlichen Rechnens fokussiert werden: Computer Architecture and Networks, Fundamental Algorithms, Patterns of Software Engineering und Visual Data Analytics im Bereich Informatik; Numerical Programming II und Numerical Algorithms for High Performance Computing im Bereich Angewandte Mathematik.

Im Pflichtmodul „CSE Seminar Scientific Computing“ (5 Credits, 2 SWS zzgl. Selbststudium) trainieren die Studierenden ihre wissenschaftliche Arbeitsweise, indem sie sich eine CSE-relevante Problemstellung unter Verwendung selbstrecherchierter Literatur weitgehend selbständig (d.h. mit Betreuung durch DozentInnen und TutorInnen) aneignen. Sie fassen die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse in einem wissenschaftlichen Paper fest (Umfang etwa 8–12 Seiten) und präsentieren (30–45 Minuten) sowie diskutieren ihre Ergebnisse gemeinsam mit den anderen Studierenden mit theoretisch und methodisch fundierter Argumentation im begleitenden Seminar. Der Fokus liegt dabei auf der Vertiefung einer CSE-spezifischen, professionellen wissenschaftlichen Arbeitsweise, insbesondere auf den Präsentations- und Vortragsfähigkeiten sowie der Fähigkeit, wichtige Fakten und Informationen aus wissenschaftlicher Literatur zu extrahieren, zu präsentieren sowie, soweit möglich, zu reproduzieren. Die Seminarthemen sollen aktuelle Forschungsthemen aus dem Computational Science and Engineering aufgreifen und können von allen am CSE-Masterprogramm beteiligten Fakultäten angeboten werden, so dass die Studierenden aus vielfältigen, CSE-relevanten Themen wählen können. Die Fakultät für Informatik (insbesondere alle an den Kernmodulen beteiligten Lehrstühle) stellt dabei ein der Zahl der Studierenden angemessenes Angebot an Seminarveranstaltungen zur Verfügung.

In ähnlicher Weise verbindet das Pflichtmodul „Masterpraktikum Computational Science and Engineering“ (10 Credits) fachliche und überfachliche Komponenten. Anhand eines konkreten, umfangreichen Programmierprojekts (üblicherweise in aufeinander aufbauenden Teilprojekten organisiert) werden Teile einer typischen Simulationspipeline in einem konkreten Anwendungskontext realisiert. Im Masterpraktikum werden somit Modellierung und numerische Behandlung mit der algorithmischen Implementierung und Optimierung der Simulationssoftware und mit der Umsetzung der Simulation in den Anwendungsdomänen verbunden. Im Modul wird zudem explizit interdisziplinäre und interkulturelle Teamarbeit in Kleingruppen trainiert: Die Projekte sind in Gruppenarbeit durchzuführen; für das erfolgreiche Lösen des Programmierprojekts wird daher die Team-, Konflikt- und Kommunikationsfähigkeit (insbes. Organisation, Verteilung und Abstimmung von Teilaufgaben) der Studierenden trainiert. Best Practices zur Validierung von Modellen,

Verifikation von Implementierungen, sowie zur Reproduzierbarkeit von Ergebnissen und zur Verlässlichkeit von Ergebnissen werden angewandt und unter den Teilnehmenden diskutiert. Zentral ist dabei der Projektcharakter des Moduls mit entsprechender (eigenständiger) Planung der angestrebten Ergebnisse, der zu implementierenden Komponenten und deren termingerechten Realisierung. Die Projektergebnisse (und -teilergebnisse) werden im Plenum vorgestellt und diskutiert, wobei besonderer Wert auf Aspekte wie Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit der Simulationsrechnungen sowie auf die Aussagekraft der erzielten Ergebnisse gelegt wird. Dabei wird auch auf Best Practices und entsprechende arbeitsethische Standards, ökonomische Fragestellungen (sinnvoller Einsatz von Ressourcen) und auf etwaige gesellschaftlich relevanten Themen (z.B. Akzeptanz von Simulationsergebnisse in der Gesellschaft) eingegangen.

Die Fakultät für Informatik bietet für dieses Modul eine größere Auswahl an Praktika-Veranstaltungen (6 SWS) an. Dabei sind verschiedene Lehrstühle der Informatik (und anderer Fakultäten) am Seminarangebot beteiligt, so dass die Studierenden aus verschiedenen CSE-relevanten Projektthemen wählen können.

Den Abschluss des Studiums bildet die Masterarbeit **im vierten Semester** (30 Credits). Hier müssen die Studierenden innerhalb einer Bearbeitungszeit von sechs Monaten eine wissenschaftliche Fragestellung aus dem Bereich des CSE bearbeiten. Idealerweise sollte die Arbeit thematisch einen interdisziplinären Charakter haben und erstreckt sich über mehrere Teile der Simulationspipeline. Dabei steht es den Studierenden offen, die Masterarbeit an der Technischen Universität München, an einer Partneruniversität, an einem Forschungsinstitut oder in der Industrie anzufertigen. Aufgrund des multidisziplinären Charakters von CSE sind zahlreiche unterschiedliche Themensteller denkbar, insbesondere aus den sieben an CSE beteiligten Fakultäten der Technischen Universität München. Die administrative Begleitung liegt dabei bei den CSE-Koordinatoren, auch wenn die Betreuerinnen bzw. Betreuer der Abschlussarbeit an einer anderen Fakultät, einem anderen Institut, einer anderen Universität oder einem externen Unternehmen ansässig sein können. Die Koordinatoren leisten darüber hinaus beim Anfertigen der Masterarbeit außerhalb der Universität organisatorische Unterstützung.

6.2 Möglichkeiten zur Spezialisierung und Profilbildung

Eine Spezialisierung der Studierenden findet sowohl im methodischen Bereich (Wahlmodule im Bereich Informatik und Angewandte Mathematik) als auch im Domänen-spezifischen Bereich (Wahlmodule in den sogenannten Anwendungsfächern) statt (siehe Abbildung 7). Zusätzlich werden die Pflichtmodule „CSE-Seminar“ (5 Credits) und „Masterpraktikum CSE“ (10 Credits) angeboten, wobei im Rahmen beider Module jeweils eine große Auswahl an Seminar- bzw. Praktika-Themen bzw. -Veranstaltungen zur Verfügung stehen. Die CSE-nahen Lehrstühle der Informatik stellen hier ein ausreichendes Angebot sich. Darüber hinaus können auch passende Seminare und Praktika anderer Fakultäten belegt werden. Jedes Seminar und Praktikum ist für 10 bis 20 Studierende ausgelegt, in dem ein klar umrissenes Teilgebiet des CSE behandelt wird. Damit ergeben sich auch innerhalb dieser Pflichtmodule von im Umfang von insgesamt 15 Credits umfangreiche Möglichkeiten zur thematischen Spezialisierung im Studiengang.

Im Bereich der Informatik sind mindestens zwei Wahlmodule mit insgesamt 10 Credits zu erbringen, mit denen ein persönlicher Schwerpunkt auf verschiedene Bereiche der Simulationspipeline gelegt

werden kann. Somit ist eine Spezialisierung auf die Programmierung von Simulationsanwendungen ebenso möglich wie ein Gesamtüberblick über die einzelnen Teilgebiete der Pipeline. Dadurch können Studierende nach ihrem persönlichen Interesse, insbesondere auch als Grundlage und Ergänzung zu den Anwendungsfächern, ihren informatischen Schwerpunkt wählen. Im Bereich „Numerische Mathematik“ wählen die Studierenden mindestens zwei von drei Wahlfächern, vor allem auch unter Berücksichtigung der bereits im Bachelor erworbenen Vorkenntnisse: da „Numerical Programming 1“ die Grundlagen für die beiden anderen Wahlmodule bildet, ist eine Nichtbelegung dieses Moduls nur zu empfehlen, wenn Studierende bereits im Bachelor-Studiengang ausreichende Kenntnisse in den entsprechenden Methoden erworben haben.

Die Domänen-spezifische Spezialisierung der Studierenden findet in den so genannten Anwendungs- und Wahlfächern (siehe Abbildung 7) statt, die von den Studierenden frei und nach ihren persönlichen Vorkenntnissen und Interessen gewählt werden. Insbesondere die „Anwendungsfächer“ unterscheiden sich vom Kerncurriculum durch die sowohl theoretische als auch praktische Fokussierung auf eine im Bereich des CSE beheimatete konkrete Anwendung. Die Anwendungs- und Wahlfächer gliedern sich in zwei Kategorien (D und E), wobei die Anwendungsfächer aus Bereich D in derzeit sechs D-Kataloge untergliedert sind, die in untenstehender Abbildung 7 aufgelistet und im nächsten Absatz näher erläutert sind. Während in den sechs Katalogen der Kategorie D Anwendungen in einer CSE-typischen Disziplin vertieft werden können, dienen die Wahlfächer der Kategorie E der Vertiefung von Methoden und Techniken, wie sie im Feld von CSE an vielen unterschiedlichen Stellen in ähnlicher Weise benötigt und angewandt werden. Studierende wählen mindestens einen D-Katalog sein, aus dem mindestens 8 Credits zu erbringen sind. Hierdurch ist sichergestellt, dass sich die Studierenden mit mindestens einer expliziten ingenieur- oder naturwissenschaftlichen Anwendung einer CSE-Disziplin auseinandergesetzt haben und sich nicht nur in allgemeineren Methoden und Techniken des CSE spezialisieren. Üblicherweise sind in den Anwendungs- und Wahlfächern insgesamt mindestens 23 Credits zu erbringen. Diese Zahl kann sich entsprechend verringern, wenn in den Wahlfachkatalogen aus A und B mehr Credits erworben werden als das Minimum vorsieht. Den Studierenden wird empfohlen, die geplanten Module aus den Wahlkatalogen möglichst frühzeitig, spätestens ab dem zweiten Studiensemester, festzulegen und ggf. zu besuchen, da so sichergestellt ist, dass im ersten Semester vermitteltes und für den weiteren Verlauf des Studiums essentielles Wissen vorhanden ist, gleichzeitig aber auch noch Gestaltungsspielräume bestehen.

Bei der studienordnungskonformen Wahl der Kataloge stehen die Programmkoordinatoren (siehe Teil B, Abschnitt 9) den Studierenden beratend zur Seite. Im Anhang findet sich in Teil B, Abschnitt 9 eine Liste von derzeit regelmäßig angebotenen Modulen, die im Rahmen der Anwendungsfächer besucht werden können. Die meisten dieser Module werden von den am CSE-Master beteiligten natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten angeboten, was den interdisziplinären Charakter des CSE-Studiums unterstreicht. Darüber hinaus steht es den Studierenden offen, nach erfolgreichem Antrag beim Prüfungsausschuss weitere Module zu absolvieren, solange diese thematisch zu einem der Kataloge passen.

Katalogkategorie	Katalognummer	Katalogname (nur D)
Computer Science	A	N.A.
Numerical Analysis	B	N.A.
Scientific Computing	C	N.A.
Applications in CSE	D1	Computational Mechanics
	D2	Computational Fluid Dynamics
	D3	Mathematics in Bioscience
	D4	Computational Physics
	D5	Computational Electronics
	D6	Computational Chemistry
Further Elective Courses	E	N.A.

Abbildung 7: Auflistung aller CSE Wahl- und Pflichtkataloge

Folgende Aufzählung gibt einen genaueren Überblick über alle Anwendungsfächer (D-Kataloge):

- **Computational Mechanics** (D1) ist ein interdisziplinäres Gebiet, das sich mit dem (rechnergestützten) Lösen mechanischer Probleme auf Basis numerischer Approximationsmethoden beschäftigt. Wie alle D-Kataloge handelt es sich um eine klassische Anwendung von CSE. Hier erfolgt eine enge Kooperation mit dem Masterstudiengang „Computational Mechanics“ (COME) der TUM in Form von gemeinsamen Modulen, die von der Fakultät Bau Geo Umwelt (BGU) für COME angeboten werden, die aber auch von CSE Studierenden besucht werden können.
- Ganz ähnlich wie Computational Mechanics ist **Computational Fluid Dynamics** (CFD) (D2) ein klassischer Anwendungsbereich von CSE, bei dem sämtliche Aspekte von CSE (z.B. die Simulationspipeline, Hochleistungsrechnen, mathematische Modellierung und numerische Behandlung) Verwendung finden. Nach Wahl von Modulen aus dem Bereich CFD sind die Absolventen in der Lage, strömungsmechanische Probleme approximativ mit numerischen Methoden zu lösen und diese Lösungen rechnergestützt zu berechnen.

Sowohl die Einsatzgebiete als auch das Know-how rund um CFD sind vielfältig und weitläufig. Zu den Anwendungen gehören Strömungssimulationen im Luftfahrt- und Automobilbereich, Fluid-Struktur-Wechselwirkung oder die Modellierung von porösen Medien, um nur wenige Beispiele zu nennen. Bei der realistischen Modellierung von Strömungsszenarien sind Herausforderungen wie Turbulenzen, numerische Instabilitäten oder gekoppelte Ansätze zu beachten. Alle diese Facetten sollen im Katalog D2 wiedergespiegelt werden.

- Die Entwicklung in Genomik, Proteomik, Molekularbiologie und benachbarten Feldern der Life Sciences erfordern eine neue Qualität mathematischer Modellbildung und Datenanalyse. **Mathematics in Bioscience** (D3) vermittelt die dafür nötigen mathematischen Techniken.
- **Computational Physics** (D4) ist ein Teilgebiet der Physik, das sich mit der Entwicklung und Implementierung numerischer Algorithmen für physikalische Prozesse und der Simulation von physikalischen Phänomenen beschäftigt. Für all diese Komponenten ist Expertise im Bereich des CSE von Nöten. Daher handelt es sich bei Computational Physics um ein klassisches Anwendungsbiet des CSE.
- **Computational Electronics** (D5) ist die interdisziplinäre Schnittmenge von Elektrotechnik, Mathematik und Informatik. Analog zu allen anderen D-Katalogen handelt es sich bei Computational Electronics um eine Anwendung von CSE. Das bedeutet, dass rechnergestützte Methoden wie Simulationen verwendet werden, um einen tieferen und besseren Einblick in elektrotechnische Vorgänge und Antworten auf elektrotechnische Fragestellungen zu erhalten.
- **Computational Chemistry** (D6) ist ein Teilgebiet der Chemie, das Schemata der Informatik verwendet, um Fragestellungen aus der Chemie zu beantworten.

Die Wahlfächer aus dem Bereich E speisen sich aus allen methodisch orientierten Gebieten des Wissenschaftlichen Rechnens. Beispiele für solche Themengebiete sind:

- Algorithmen des Wissenschaftlichen Rechnens, die von zentraler Bedeutung in allen Anwendungsfeldern des CSE sind. Solche Algorithmen und Methoden (wie z.B. Hierarchische Verfahren wie Baumstrukturen, Diskrete Fourier Transformation, dünne Gitter oder Wavelets) sind einerseits vergleichsweise komplex zu analysieren und zu implementieren, ermöglichen andererseits aber große Einsparungen an Berechnungsressourcen und sind daher wichtige Bausteine in diversen Bereichen von CSE.
- Spezielle Diskretisierungsverfahren, wie z.B. die Finite Element Methode (FEM), zur Lösung von partiellen Differentialgleichungen (PDEs). PDEs spielen die zentrale Rolle bei der mathematischen Modellierung vieler Vorgänge (z.B. Ausbreitung von Wärme, Verhalten von Fluiden, Verformung einer Autokarosserie bei einem Crash, usw.). Daher sind PDEs und folglich die FEM ständig verwendete Werkzeuge des CSE.
- Hochleistungsrechnen umfasst den Bereich des computergestützten Rechnens, der höchste Anforderungen an Rechenleistung und Speicherkapazität stellt. Nur durch den Einsatz modernster Technologien im Bereich der Algorithmik und Hardware lässt sich Problemen begegnen, die ansonsten unlösbar wären. Viele solche Probleme finden sich auch im CSE, vor allem Simulationen von natürlichen Phänomenen und ingenieurtechnischen Aufgabenstellungen erfordern oftmals ein Höchstmaß an Rechenkapazität. Daher spielt paralleles, verteiltes und Hochleistungsrechnen im CSE, neben vielen anderen Bereichen, eine Schlüsselrolle.

- Die optische Aufbereitung und Visualisierung von Daten im Allgemeinen und Information im Speziellen berührt zahlreiche Aspekte der digitalen Gegenwart. Im Bereich des CSE fallen besonders umfangreiche Daten an, z.B. die Ergebnisse einer Simulation. Um diese Daten explorieren und nützliche Schlüsse aus ihnen ziehen zu können, werden diese visuell aufbereitet, um dem Nutzer einen intuitiven Zugang zu den Informationen zu ermöglichen.
- Stochastische Methoden finden in vielen klassischen Bereichen des CSE Verwendung, wie z.B. bei Stochastischen Differentialgleichungen (SDEs) oder der Domäne des Uncertainty Quantification (UQ). Nur durch eine Vertiefung in diesem Bereich ist es Studierenden möglich, zahlreiche natürliche Phänomene ausreichend genau mit einem Modell zu beschreiben und diese zu simulieren. Mit klassischen, deterministischen Verfahren ist dies oft nicht möglich.
- Rechnergestützte Statistik verknüpft die mathematische Theorie der Statistik mit Inhalten der Informatik und Angewandten Mathematik. Aufgrund dessen entwickelt sich die Rechnergestützte Statistik seit dem Vorhandensein von Computern rasant. Studierende mit Kompetenzen in der Rechnergestützten Statistik sind in der Lage, spezielle Fragestellungen der Finanzmathematik und des Versicherungswesens zu beantworten sowie große Datenmengen zu analysieren.
- Die Bearbeitung großer Datenmengen („Big Data“) tritt mittlerweile als Problem in nahezu allen Bereichen des Wissenschaftlichen Rechnens auf, sowohl in den CSE-nahen Natur/Ingenieur-Wissenschaften, als auch in wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Anwendungen. Durch eine Vertiefung in diesem Bereich erwerben die Studierenden Techniken und Kompetenzen, um mit solchen großen Datenmengen umzugehen (Data Engineering) und wichtige Erkenntnisse aus diesen Datenmengen zu erhalten (Data Analytics).

6.3 Exemplarischer Studienplan

Abbildung 8 zeigt einen exemplarischen Studienplan (Studienbeginn im Wintersemester). Die dazugehörigen konkreten Stundenpläne finden sich in den Tabellen 5 bis 7 in Teil B Abschnitt 9.

Für die Anwendungsfächer wurde aus dem Bereich der Katalog D2 „Computational Fluid Dynamics“ gewählt, aus dem in diesem Fall 9 Credits eingebracht werden (mindestens 8 Credits sind gefordert). Für das Modul „CSE Seminar Scientific Computing“ wurde das Seminar „Partitioned Fluid-Structure Interaction“ gewählt, für das „Masterpraktikum CSE die Ausprägung „Computational Fluid Dynamics“, beides gemäß einer weiteren Vertiefung im Gebiet der Strömungssimulation. Zudem wird im Wahlfachbereich E eine Fokussierung auf Diskretisierungsmethoden gewählt und im Wahlbereich A werden 15 Credits (mind. 10 Credits) eingebracht.

Semester						Credit Points/ Prüfungsanzahl
1.	Advanced Programming (Pflicht) Klausur 5 CP	Numerical Programming I (Wahl) Klausur 8 CP	Scientific Computing I (Pflicht) Klausur 5 CP	Scientific Computing Lab (Pflicht) Projektarbeiten 6 CP	Introduction to Functional Analysis (E) (Wahl) Klausur 5 CP	29/5
2.	Parallel Programming (Pflicht) Klausur 5 CP	Numerical Programming II (Wahl) Klausur 8 CP	Scientific Computing II (Pflicht) Klausur 5 CP	CSE Lab: CFD Lab (Wahl) Projektarbeiten 10 CP	The Finite Element Method for Fluid-Structure Interaction with Open-Source Software . (D2) (Wahl) Klausur 5 CP	33/5
3.	Mobilitätsfenster Patterns in Software Engineering (Wahl) Klausur 5 CP	CSE Seminar: Partitioned Fluid-Structure Interaction (Wahl) Klausur 5 CP	Computational Thermo-Fluid Dynamics (D2) (Wahl) Klausur 4 CP	Numerical Methods for Partial Differential Equations (E) (Wahl) Klausur 9 CP	Visual Data Analytics (Wahl) Klausur 5 CP	28/5
4.	Master's thesis (Wahl) Prüf.form 30 CP					30/1

Legende: Beispielsweise: hellgrau = Pflichtmodule, dunkelgrau = Wahlmodule, schwarz = allgemeinbildende Module, hellblau = Schwerpunkt, dunkelblau = Abschlussarbeit

Abbildung 8: Exemplarischer, vollständiger Studienplan von CSE-Studierenden bei Studienbeginn im Wintersemester. Die Zahlen in Klammern bezeichnen jeweils die Anzahl der Credits gemäß ECTS für das entsprechende Modul.

Studierbarkeit, Anzahl der Prüfungen

Sämtliche Module des Kernbereichs (d.h. Pflicht- und Wahlmodule der Bereiche A, B und C) sind im Rahmen des Studienfortschritts (Semesterplanung) aufeinander abgestimmt. Für die Kernmodule wird zudem sichergestellt, dass es zu keinen zeitlichen Überlappungen kommt und zwischen zwei Modulen genügend Zeit bleibt, die Lehrräume zu wechseln (für das CSE Seminar und das Masterpraktikum Computational Science and Engineering kann dies aufgrund deren inhärenten Wahlcharakter ggf. nicht für alle Wahlmöglichkeiten sichergestellt werden). Alle Kernmodule werden von den Fakultäten für Informatik und Mathematik angeboten, die sich im selben Gebäude auf dem Campus Garching befinden. Somit finden mit wenigen, unregelmäßigen Ausnahmen alle Kernmodule im selben Gebäude statt. Es wird empfohlen, Wahlmodule der Kataloge D und E erst ab dem zweiten Studiensemester zu belegen. Dementsprechend ist der empfohlene Studienplan ausgelegt. Der Anteil der Pflichtmodule nimmt im zweiten und dritten Semester zunehmend ab, so dass Studierenden ab dem zweiten Semester genügend Freiraum im Stundenplan haben, um auch Wahlmodule zu besuchen, die von Fakultäten angeboten werden, die sich auf dem Stammgelände der Technischen Universität München im Münchner Stadtzentrum befinden.

Im Teil B, Abschnitt 10 findet sich ein exemplarischer Stundenplan, der neben dem Pflichtcurriculum eine mögliche Kombination von Wahlmodulen zeigt. Generelles Ziel des Wahlbereichs ist, die Studierenden mit mindestens einem Anwendungsgebiet (sowie darüber hinaus mit einem weiteren Anwendungsgebiet oder mit allgemeineren Techniken und Methoden) des CSE vertraut zu machen und ihnen die Möglichkeit zu geben, sich – je nach persönlichem Interesse, Können, Vorwissen und späterem Berufswunsch – in typischen Einsatzgebieten des CSE zu spezialisieren.

Alle Kernmodule des Studiengangs CSE umfassen mindestens 5 Credits, wodurch eine angemessene Begrenzung der Zahl der Prüfungen sichergestellt wird. Neben ausreichend großen Wahlmodulen stehen in den Anwendungs- und Wahlfächern zur fachlichen Erweiterung und Vertiefung auch kleine Module (kleiner 5 Credits) zur Verfügung.

Internationalität, Auslandssemester

Der Masterstudiengang CSE ist ein internationaler Studiengang; von den eingeschriebenen Studierenden sind derzeit 70 Prozent Studierende mit ausländischer Bildungsherkunft (vgl. Abbildungen 3 und 4 in Kapitel 3.3). Daher ist die Nachfrage seitens der Studierenden, einen Auslandsaufenthalt in das Studium zu integrieren, vergleichsweise gering, und beschränkt sich zumeist auf die Phase der Masterarbeit.

Dennoch bietet der Studiengang all denjenigen ausreichend Flexibilität, die einen Aufenthalt an einer anderen Universität ohne Zeitverlust planen (Mobilitätsfenster). Insbesondere das dritte Semester ist aufgrund des großen Wahlmodulanteils als Mobilitätsfenster geeignet, in diesem Semester können bereits alle Pflichtmodule absolviert sein. Bei passendem Angebot sind zudem Anerkennungen von Pflichtmodulen wie „Parallel Programming“ oder „Numerical Algorithms for High Performance Computing“ möglich.

Auch die Masterarbeit kann in Kooperation mit einem Lehrstuhl der TUM an einer anderen Universität, einer außeruniversitären Forschungseinrichtung oder einem Industrieunternehmen im In- oder Ausland erbracht werden. Wichtig hierbei ist die Sicherstellung der Betreuung durch einen Prüfungsberechtigten der TUM. Für einen Auslandsaufenthalt stehen den Studierenden alle Möglichkeiten offen, die auch allgemein Studierenden an der Fakultät für Informatik zur Verfügung stehen, wie beispielsweise das ERASMUS-Programm. Hier kommen die zahlreichen Kooperationen und Partneruniversitäten der TUM zu tragen.

Abgesehen von der Abschlussarbeit erfolgt die Anrechnung von im Ausland erworbenen Studienleistungen über das Anerkennungsverfahren. Bezüglich Fragen rund um das Anerkennungsverfahren sowie bei der Auswahl von Modulen an der Gastuniversität stehen die CSE-Programmkoordinatoren den Studierenden beratend zur Seite (siehe Teil B, Kapitel 9).

7 Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten

Der Master CSE ist formal gesehen ein Studiengang der Fakultät für Informatik und wird gemeinsam mit den TUM-Fakultäten für Mathematik, Maschinenwesen, Chemie, Physik, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie der Ingenieursfakultät Bau Geo Umwelt ausgerichtet.⁴ Der Prüfungsausschuss, der Inhalte der Prüfungs- und Studienordnung aktualisiert und in prüfungsrelevanten Fragen Entscheidungsfunktion hat, ist daher aus Vertreterinnen und Vertretern der beteiligten Fakultäten zusammengesetzt: Die Kernmodule werden von der Fakultät für Informatik

⁴ „Computational Science and Engineering ist von der Sache her nicht einer einzelnen Fakultät zuzuordnen. Da an der TU München Studiengänge aber traditionell in einer Fakultät angesiedelt sind, soll Computational Science and Engineering von der Fakultät für Informatik federführend betreut werden.“ (Auszug Einrichtungsantrag des Masterstudiengangs CSE, 2000)

und der Fakultät für Mathematik angeboten. Daher sind diese beiden Fakultäten mit jeweils zwei Mitgliedern im Prüfungsausschuss vertreten. Wahlmodule im Bereich der Anwendungskataloge werden darüber hinaus von den Fakultäten für Maschinenwesen, Chemie, Physik, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie von der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt angeboten. Sie sind mit jeweils einem Mitglied im Prüfungsausschuss vertreten.

Im Zuge der Transformation des herkömmlichen TUM-Fakultätssystems in eine School-Struktur wird der Studiengang künftig in der School of Computation, Information and Technology (CIT) aufgehängt sein; beteiligt an der Lehre sind dann weiterhin Lehrende aus der School of Engineering and Design (ED) ebenso wie der School of Natural Sciences. Die School of Computation, Information and Technology (CIT) befindet sich derzeit in Gründung; in dieser Übergangsphase – und im Sinne einer einheitlichen Darstellung – wird auf die noch gültigen Anbindungen und Zuständigkeiten in den Fakultäten verwiesen.

Die organisatorische und administrative Abwicklung erfolgt durch die Fakultät für Informatik als federführende Instanz. Für studien gangsspezifische organisatorische Aspekte ist die Studien gangskoordination des CSE-Masterstudiegangs zuständig. Dieses Team ist zudem betraut mit der studien gangsspezifischen Studienberatung (zusätzlich zur allgemeinen Informatik-Fachstudienberatung) sowie mit der Koordination des Bewerbungsverfahrens, die in Abstimmung mit der Zulassungskommission erfolgt. Für administrative Aspekte der Studienorganisation sind teils die zentralen Arbeitsbereiche des TUM Center for Study and Teaching (TUM CST), teils Einrichtungen der Fakultät zuständig.

In 7.1 werden die CSE-spezifischen Zuständigkeiten in der Fakultät für Informatik, in 7.2 die von der Fakultätszentrale (bzw. der School) übernommenen Zuständigkeiten und in 7.3 die wesentlichen Zuständigkeiten an zentraler Stelle der TUM aufgeführt.

7.1 CSE-spezifische Zuständigkeiten

Abbildung 9 stellt die Organisation der studien gangsspezifischen Koordinationsaufgaben und Verantwortlichkeiten für den Master CSE dar. Nachfolgend sind die aktuellen Kontaktpersonen aufgeführt:

Studiengangverantwortung

- Prüfungsausschuss (Vorsitz)
- Studien gangskoordination

Prof. Dr. H.-J. Bungartz
E-Mail: bungartz@in.tum.de

Prof. Dr. M. Bader
E-Mail: bader@in.tum.de

M.Sc. Hayden Liu Wenig, M.Sc. Qunsheng Huang, M.Sc. Kislaya Ravi, Dr. Tobias Neckel
E-Mail: coordinators@cse.tum.de

Studienmanagement

- Eignungsverfahren CSE

Qunsheng Huang
E-Mail: huangq@in.tum.de

Prüfungsmanagement

- Schriftführung CSE

M.Sc. Hayden Liu Weng

E-Mail: h.liu@tum.de

Studienfachberatung

- Fachberatung CSE

M.Sc. Kislaya Ravi

E-Mail: kislayaravi@tum.de

Abbildung 9: Organisationsstruktur des CSE-Masterstudiengangs



7.2 Zuständigkeiten der Fakultät für Informatik

Im Folgenden sind die aktuellen Zuständigkeiten und Kontaktpersonen für alle administrativen Aufgaben aufgeführt, die in der Zentrale der Fakultät für Informatik für alle Studiengänge übernehmen werden. Abbildung 10 zeigt die Organisationsstruktur der Fakultät.

Fakultät für Informatik Organisationsstruktur im Bereich „Studium“

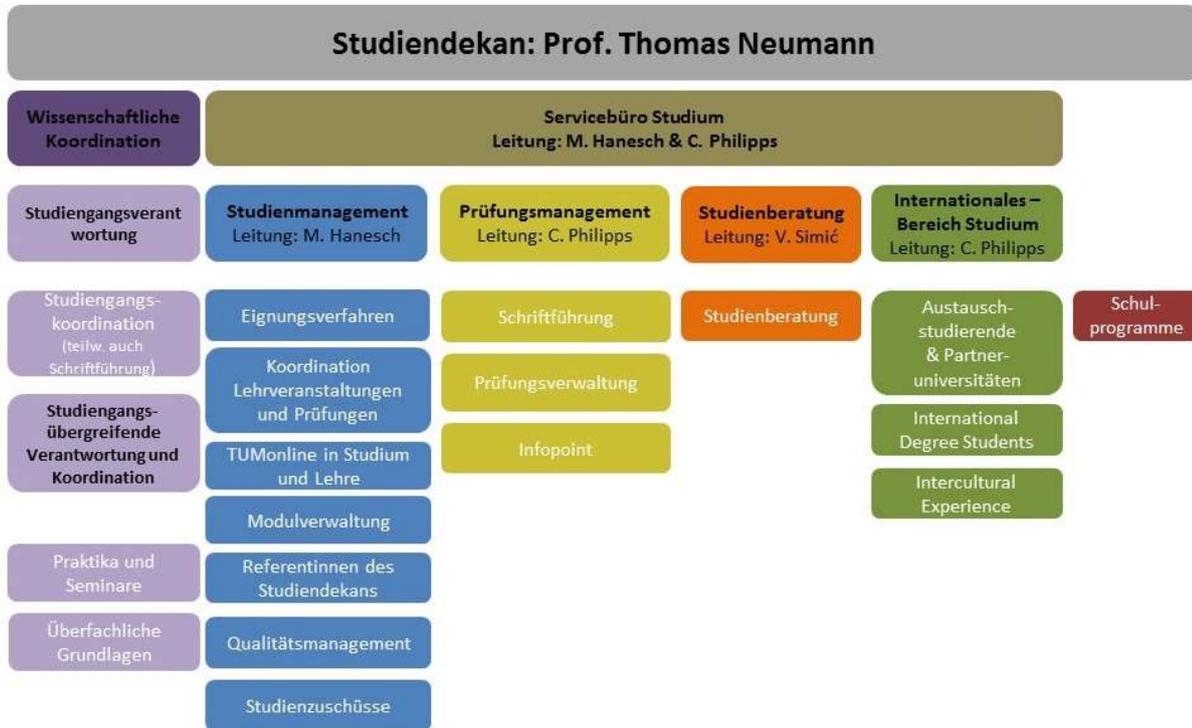


Abbildung 10: Organisationsstruktur im Bereich Studium der Fakultät für Informatik

Studiendekan: Prof. Dr. Thomas Neumann

E-Mail: thomas.neumann@tum.de

Studiengangübergreifende Verantwortung und Koordination

- Praktika und Seminare
- Überfachliche Grundlagen

Prof. Dr. A. Brüggemann-Klein
E-Mail: brueggemann-klein@tum.de

Prof. Dr. S. Günnemann
E-Mail: stephan.guennemann@tum.de
T. Wollschläger
E-Mail: tom.wollschlaeger@tum.de

Servicebüro Studium

Leitung: Dr. M. Hanesch und Dr. C. Philipps

E-Mail: monika.hanesch@tum.de,
philipps@tum.de

Studienmanagement

- Eignungsverfahren

Leitung: Dr. M. Hanesch
 E-Mail: monika.hanesch@tum.de

L. Krone
 E-Mail: lena.krone@tum.de
 A. Winkler
 E-Mail: alexandra.winkler@tum.de

- Koordination der Lehrveranstaltungen

M. Kozera
 E-Mail: magdalena.kozera@tum.de

- Koordination der Prüfungen

E. Brunnbauer
 E-Mail: brunnbauer@mytum.de

- TUMonline in Studium und Lehre

T. Schwanke
 E-Mail: tristan.schwanke@tum.de

- Modulverwaltung

B. Rosenbaum
 E-Mail: birgit.rosenbaum@tum.de
 T. Schwanke
 E-Mail: tristan.schwanke@tum.de

- Referentinnen des Studiendekans

Dr. E. Seedig
 E-Mail: eva.seedig@tum.de
 Dr. M. Serbu
 E-Mail: monica.serbu@tum.de

- Qualitätsmanagement

B. Rosenbaum
 E-Mail: birgit.rosenbaum@tum.de
 Dr. E. Seedig
 E-Mail: eva.seedig@tum.de
 Dr. M. Serbu
 E-Mail: monica.serbu@tum.de

- Studienzuschüsse

B. Rosenbaum
 E-Mail: birgit.rosenbaum@tum.de

Prüfungsmanagement

- Prüfungsverwaltung

Leitung: Dr. C. Philipps
 E-Mail: philipps@tum.de

Z. Millidere
 E-Mail: z.millidere@tum.de

- Infopoint

S. Kellerer, S. Kinzel, Z. Millidere, B. Oeckl,
 A.Winkler
 Phone: 089/289-17593

Studienfachberatung

- Studienfachberatung
- Studienfachberatung, Fakultätsbeauftragte für chronisch kranke und behinderte Studierende

Leitung: V. Simić
E-Mail: studienberatung@in.tum.de

Dr. S. Kemler
S. Roden-Kinghorst
E-Mail: studienberatung@in.tum.de

Internationales-Bereich Studium

- Austauschstudierende und Partneruniversitäten
- International Degree Students
- Intercultural Experience

Leitung: Dr. C. Philipps
E-Mail: philipps@tum.de

M. von Imhoff
E-Mail: martina.vonimhoff@mytum.de

L. Krone
E-Mail: lena.krone@tum.de

M. von Imhoff
E-Mail: martina.vonimhoff@mytum.de
L. Krone
E-Mail: lena.krone@tum.de

- <https://intranet.in.tum.de/pages/qan6otu81hls/Servicebuero-Studium-SB-S-IN>
- <https://intranet.in.tum.de/pages/hlqajcu4wyen/Organigramm>
- <https://www.in.tum.de/fuer-studierende/master-studiengaenge/computational-science-and-engineering/contact/>

7.3 Zentrale Zuständigkeiten an der TUM

Bewerbung und Immatrikulation (zentral)

Bewerbung und Immatrikulation (TUM CST)

E-Mailadresse: studium@tum.de
Telefonnummer: +49 (0)89 289 22245
Bewerbung, Immatrikulation,
Student Card, Beurlaubung,
Rückmeldung, Exmatrikulation

Zentrale Prüfungsangelegenheiten

Zentrale Prüfungsangelegenheiten (TUM CST), Campus Garching

Abschlussdokumente, Prüfungsbescheide,
Studienabschlussbescheinigungen

8 Entwicklungen im Studiengang

In den vergangenen Jahren wurden mehrere Anpassungen am Studiengang Computational Science and Engineering vorgenommen.

Die Wahlmodule in den Anwendungsfächern wurden laufend aktualisiert und erweitert. Zum Beispiel wurde der Bereich „Methoden und Techniken in CSE“ (E-Kataloge) 2014 um den Katalog „Computational Stochastics and Statistics“ und 2015 um den Katalog „Big Data“ ergänzt. Beide Ergänzungen tragen aktuellen Entwicklungen im CSE-Bereich Rechnung und sollen die Studierenden in den neuesten Methoden aus den Bereichen Data Analysis, Machine Learning und Uncertainty Quantification weiterbilden. Von Seiten der Studierenden wurde in der Vergangenheit die restriktive Regelung der Wahlfächer kritisiert. Ursprünglich waren 18 Credits aus zwei Katalogen zu erbringen, wobei davon mindestens einer ein D Katalog sein musste und in jedem dieser Kataloge mussten mindestens 8 ECTS erbracht werden. Diesem Wunsch nach mehr Flexibilität wurde in mehreren Schritten Rechnung getragen, zuletzt 2017 im Rahmen eines größeren Umbaus. Die Anzahl der zu erbringenden Credits in den Wahlfächern der Kataloge D und E wurde auf 23 ECTS vergrößert (statt davor 18 ECTS) und gleichzeitig wurden die Regeln für diese gelockert (weiterhin 2 Kataloge zu wählen, davon mindestens ein D-Katalog, jedoch nur noch mindestens 6 ECTS in beiden zu erbringen).

Mit Beginn des Studienjahres 2021/22 wurde die Aufteilung des Wahlbereichs E in Kataloge abgeschafft, um eine breitere Auffächerung bzgl. Methoden zu ermöglichen. Im Gegenzug wurde die Ausgestaltung des Bereichs D geschärft, um zumindest in einem Anwendungsgebiet des CSE eine vertiefte Beschäftigung (mind. 8 statt bis dato mind. 6 Credits) sicher zu stellen.

Im Kernbereich (A, B, C) wurde für den Bereich Computer Science 2017 eine Trennung zwischen Wahlmodulen und Pflichtmodulen umgesetzt. Aus den ursprünglich 7 Pflichtmodulen mit 31 ECTS wurden zwei Pflichtmodule mit insgesamt 10 ECTS und ein Wahlbereich mit (seit Winter 2021/22) 4 Modulen (je 5 ECTS), aus dem 10 ECTS erbracht werden müssen.

Zum Studienjahr 2021/22 wurde zusätzlich der bisherige Pflichtbereich B (Angewandte Mathematik) in einen Wahlbereich mit drei Wahlmodulen (jeweils 8 Credits) geändert. Dazu wurde die bisherige Veranstaltung „Parallel Numerics“ bzgl. Umfang erweitert und in „Numerical Algorithms for High Performance Computing“ umbenannt. Studierende wählen mindestens zwei aus diesen drei Modulen. Ein wichtiger Aspekt ist, dass vermehrt Studierende aus Bachelor-Studiengängen kommen, die zumindest die grundlegende Numerik bereits gut beherrschen. In diesem Fall bringt ein Pflichtfach „Numerical Programming 1“ keinen Zusatzwert für das Studium. Gleichzeitig kommen auch immer noch viele Studierende aus Studiengängen, die nur sehr eingeschränkt „Grundlagen in Numerik“ enthalten. Die Umgestaltung in einen Wahlkatalog trägt dieser Heterogenität Rechnung.

Ein wichtiges neues Element der Curriculumsänderung von 2021/22 ist die Einführung des Pflichtmoduls „Masterpraktikum Computational Science and Engineering“. Der Begriff Pflichtmodul ist etwas irreführend, zumal im Rahmen des Moduls eine große Auswahl an Praktika-Themen bzw. -Veranstaltungen zur Verfügung stehen. Im Masterpraktikum sollen (typischerweise in kleinen Teams zu ca. 3 Studierenden) die Arbeit an interdisziplinären Simulations-Pipelines und die Realisierung von Simulationsanwendungen auf zeitgemäßen (i.d.R. parallelen) Rechnerarchitekturen an einem konkreten praktischen Projekt eingeübt werden. Das Umfassen mehrerer Stufen der Simulationspipeline betont das Zusammenwirken von Software-Komponenten

und das interdisziplinäre Zusammenspiel der jeweiligen Beiträge von Forschenden im Wissenschaftlichen Rechnen; die Ausrichtung auf moderne Rechenarchitekturen schärft das Profil des CSE-Studiengangs im Bereich Hochleistungsrechnen und ersetzt an dieser Stelle das bisherige Wahlmodul „Programming of Supercomputers“. Entsprechende Masterpraktika werden von unterschiedlichen Dozentinnen und Dozenten mit entsprechend unterschiedlicher inhaltlicher Ausrichtung angeboten und bieten somit eine weitere Wahl- und Vertiefungsmöglichkeit für die Studierenden.