

# Die Graduiertenschule *Computational Engineering* an der TU Darmstadt – Beyond Traditional Sciences

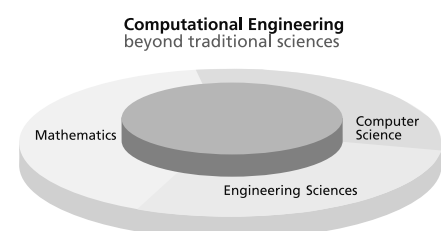
Michael Schäfer, Markus Lazanowski und Florian van de Loo

## Computational Engineering als junge Wissenschaftsdisziplin

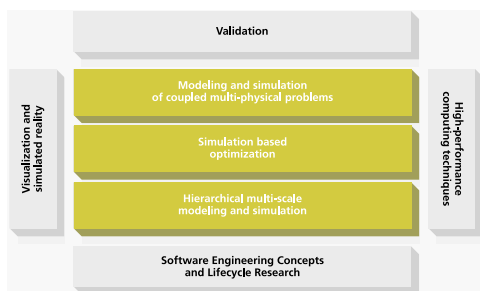
Die Durchführung von Berechnungen wird inzwischen, neben Theorie und Experiment, als gleichberechtigte und unverzichtbare Aktivität beim wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn wie auch in der Ingenieurspraxis angesehen. Computergestützte Modellierung, Analyse, Simulation und Optimierung ermöglichen die Untersuchung komplexer Ingenieurwissenschaften und natürlicher Phänomene, die direkten Experimenten nicht zugänglich sind, da dies zu teuer, zu gefährlich, zu aufwändig oder prinzipiell unmöglich wäre. Die Forderung nach immer höherer Detailauflösung und Realitätsnähe dieser Simulationen bringt die Notwendigkeit neuer Ansätze in der mathematischen Modellierung, numerischen Simulation, Visualisierung und Validierung großer gekoppelter Probleme wie auch den Bedarf an enormen Rechnerkapazitäten mit sich.

Computational Engineering (CE) beschreibt dieses schnell wachsende multidisziplinäre Gebiet mit Verbindungen zu den Ingenieurwissenschaften, der Mathematik und der Informatik. Hierbei konzentriert sich CE auf die Entwick-

lung und Verbesserung von Methoden und robusten Werkzeugen zur Lösung wissenschaftlicher Probleme insbesondere aus den verschiedenen Ingenieurdisziplinen. Es ermöglicht die Erstellung von skalierbaren digitalen Modellen, um die Erforschung, die Entwicklung, das Design, die Konstruktion, die Bewertung, die Produktion und die Funktion von Ingenieurwissenschaften zu unterstützen. Ferner kann CE dazu beitragen, optimale Strategien für zentrale Fragen der technischen Entwicklung in Wirtschaft und Gesellschaft zu finden, wie etwa auf den Gebieten Energie, Kommunikation, Gesundheit, Sicherheit und Mobilität. Computational Engineering ermöglicht die zuverlässige Modellierung von Produkten und Prozessen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg – dies jedoch bereits lange vor ihrer tatsächlichen Umsetzung.



Darüber hinaus entwickelt sich CE zu einer anerkannten und wichtigen akademischen Disziplin. Obwohl es wesentliche Elemente aus der Informatik, der angewandten Mathematik und den Ingenieurwissenschaften beinhaltet, liegt beim Computational Engineering der Schwerpunkt auf der *Integration und Verbesserung von Wissen und Methoden* aller dieser Fachrichtungen. Somit kann es als eigenständiger Forschungskomplex gelten, der sich von den anderen Wissenschaften abgrenzt.



## Die Graduiertenschule CE an der TU Darmstadt

An der Technischen Universität Darmstadt (TUD) wurde bereits früh die Notwendigkeit erkannt, CE zu einer formell anerkannten akademischen Institution aufzuwerten. Mit Gründung der Graduiertenschule soll die Bedeutung und langfristige strategische Ausrichtung der TUD im CE-Bereich weiter gestärkt werden. Die neue Graduiertenschule stellt die zentrale Einheit für Lehre und Forschungsausbildung von Graduierten in diesem multidisziplinären Gebiet dar. Auf Forschungsseite wird sie die vielen an der TUD bestehenden Forschungsaktivitäten im CE-Bereich untereinander verbinden. Hierbei wird sie in enger Kooperation mit dem Forschungszentrum CE stehen, das als dauerhafte fachbereichsübergreifende Institution bereits 2002 ins Leben gerufen wurde und in dem alle Forschungsaktivitäten der TUD mit Bezug zum CE gebündelt werden. Ferner unterhält die Graduiertenschule, z.B. mit den Fraunhofer-Instituten für Graphische Datenverarbeitung (IGD) und für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF), enge Verbindungen zu einigen renommierten Forschungsinstituten. Ihre anwendungsbezogene Forschung wird von mehreren Partnerunternehmen unterstützt. Internationale Partnerinstitutionen der Graduiertenschule schließlich bilden ein weltweites Netzwerk für Kooperationen und Austausch in Forschung und Lehre.

Im Bereich der Lehre baut die Graduiertenschule auf dem CE-Studienprogramm auf, das die beiden akkreditierten, aufeinander

aufbauenden und fachbereichsübergreifenden Studiengänge Bachelor (BSc) und Master of Science (MSc) beinhaltet. Diese werden gegenwärtig vom CE-Studienbereich organisiert, der 2001 als rechtlich eigenständige Institution von sechs Fachbereichen der TUD ins Leben gerufen wurde. Die TUD hat von Beginn an das Konzept eines konsekutiven BSc- und MSc-Programms verfolgt, um einen hohen Qualifikationsstand der Absolventen zu erreichen. Durch das hohe Einstiegsniveau für MSc-Studenten in CE wird ein stark forschungsorientiertes Master-Programm ermöglicht, das auf die spezifischen starken Forschungsbereiche der TUD im CE-Bereich gerichtet ist.

## Kernthemen der Forschung

In der Ausrichtung der in der Graduiertenschule verankerten Forschungsschwerpunkte spiegelt sich die Expertise der beteiligten Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen wieder. So arbeiten Experten der Bereiche Informatik, Elektrotechnik, Materialwissenschaften, Mathematik und Maschinenbau zusammen, um eine Grundlage zu schaffen, auf der zukünftige Problemstellungen aus dem Bereich der Modellierung und Simulation von Ingenieur Anwendungen erforscht werden können. Darüber hinaus werden zusätzlich drei Juniorprofessuren eingerichtet, um jungen Wissenschaftlern die Möglichkeit zu geben auf dem Gebiet des Computational Engineering mit eigenen Forschergruppen agieren zu können. Die Forschung konzentriert sich dabei auf drei wesentliche Herausforderungen der gegenwärtigen Forschung auf diesem Gebiet:

- Die *Modellierung und Simulation von gekoppelten Multiphysics-Problemen* erforscht das komplexe Zusammenspiel verschiedener gekoppelter physikalischer Phänomene. So bedarf die Simulation eines Microchips beispielsweise der Analyse aller elektronischen, thermischen und mechanischen Aspekte und stellt dadurch eine sehr komplexe Aufgabe dar.
- *Simulationsbasierte Optimierung* repräsentiert eine Wissenschaft, die bei der Erforschung praktisch aller technischen Systeme eingesetzt werden kann, sei es zur Einsparung von Energie bei Antriebssystemen oder zur Minimierung der Abstrahlung elektrischer Antennen. Die Vereinigung komplexer Simulationsmethoden mit modernen Optimierungsstrategien stellt dabei die wesentliche wissenschaftliche Herausforderung dar.
- Die *Modellierung und Simulation von hierarchischen Mehrskalproblemen* befasst sich mit der gekoppelten Simulation von Phänomenen völlig

unterschiedlicher Größenordnungen. Ein Beispiel hierfür ist die Simulation von Kommunikationssystemen, für welche vom physikalischen Problem der Wellenausbreitung über das Chip-Layout bis hin zur Analyse ganzer Netzwerke, verschiedenste Aspekte erforscht werden müssen.

Die drei genannten Kernfelder der Forschung an der Graduiertenschule CE werden durch vier weitere Querschnittsbereiche ergänzt:

- Visualisierung und simulierte Realität,
- Einsatz von Hochleistungsrechnern (HLR<sup>1</sup>),
- Validierung,
- Softwareentwicklung und Lebenszyklusanalyse technischer Systeme.

### Eine neue Form des Studiums

Das Studienprogramm der Graduiertenschule CE der Technischen Universität Darmstadt baut auf den vorhandenen Strukturen des MSc-Studiengangs auf und erweitert diese um die Möglichkeit zur Promotion im Bereich Computational Engineering. Ziel ist es dabei, den jeweils besten Studenten einen direkten Einstieg ins Promotionsstudium zu ermöglichen. Die Voraussetzungen für die Aufnahme in die so genannte „PhD track“ der Graduiertenschule sind neben exzellenten Leistungen auch beispielsweise die persönliche Motivation, fachliche Empfehlungen oder bestimmte Fähigkeiten des wissenschaftlichen Arbeitens. Gegenüber dem klassischen akademischen Werdegang, können die ausgewählten Kollegiaten dadurch das reguläre MSc-Studium verkürzen und ihre Forschung bereits früher und intensiver im ausgewählten Themenschwerpunkt aufnehmen und vertiefen. Die Förderung durch ein ansprechendes Stipendium erlaubt den Kollegiaten darüber hinaus, sich voll auf das Studium zu konzentrieren. So wird neben dem MSc-Studium auch die Gesamtstudienzeit verkürzt. Grundsätzlich sind damit mögliche Kandidaten für den Eintritt in die Graduiertenschule vorwiegend Studenten mit abgeschlossenem BSc-Studium. Andere Einstiegszeitpunkte sind jedoch vor allem jetzt zu Beginn der Graduiertenschule ebenfalls möglich.

Durch die thematische Ausrichtung der Graduiertenschule ist das Studium selbst vor allem durch eine interdisziplinäre Atmosphäre geprägt. Das Zusammenspiel unterschiedlicher Fachrichtungen eröffnet dadurch die Möglichkeit, an vielen Stellen auch „über den Tellerrand hinaus“ zu blicken und den wissenschaftlichen

Diskurs zu pflegen. In gleicher Weise sind jedoch Internationalität und Interkulturalität wesentliche Charakteristika, die an der Graduiertenschule gepflegt und gefördert werden, um auch die persönliche Entwicklung der Kollegiaten zu fordern und zu fördern und sie so auf ihren Einsatz als Spitzenkräfte in Wissenschaft und Industrie vorzubereiten. Die bewusste Nähe zur Industrie durch intensive Kooperationen und aktiven Wissenstransfer fördert diese Entwicklung zusätzlich.

Im „One-stop office“ beginnt das Studium

Die Integration der Kollegiaten beginnt jedoch nicht erst in der Forschergruppe. Die GSC CE strebt einen hohen Anteil internationaler Kollegiaten an. Im so genannten „One-stop office“ erhalten die Kollegiaten der Graduiertenschule Unterstützung bei der Wohnungssuche, Visa-Angelegenheiten, bei der Eingliederung in das studentische Leben oder in der Nutzung von kulturellen Einrichtungen und Sportmöglichkeiten. Ferner soll ein Frauenanteil unter den Promotionsstudenten von mindestens einem Drittel erreicht werden. Daher wird die Vereinbarkeit von Beruf und Familie durch gezielte Maßnahmen für Promotionsstudierende mit Kleinkindern unterstützt. Neben der fachlichen Betreuung wird auch ein Mentorenprogramm eingerichtet, so dass jedem neuen Studenten ein Professor und ein erfahrener Kollegiat als Ansprechpartner zur Seite stehen. Durch die gezielte Vermittlung von Soft Skills, etwa in der Ausbildung aller Kollegiaten als Mentoren, werden solche Maßnahmen fundiert und der integrative Charakter der Einrichtung noch verstärkt. Auch während der Promotionsphase wird eine Doppelbetreuung eingeführt. Zum einen wird dadurch die starre Zugehörigkeit zu einer bestimmten Forschergruppe aufgelöst und zum anderen die Interdisziplinarität der Aktivitäten weiter vertieft. Besonders letzterer Grundsatz wird auch während der beiden Phasen des Studiums, der so genannten „study phase“ und der „research phase“, verfolgt. So sind die Studienfächer der Kollegiaten während des verkürzten MSc-Studiums thematisch als Querschnitt zwischen den verschiedenen Forschungsdisziplinen angesiedelt und vermitteln genau die Kenntnisse, die eine zu frühe Spezialisierung vermeiden und den vielschichtigen Anforderungen des CE Rechnung tragen. Eine neue Art der individuellen Evaluation der Studenten am Ende der „study phase“ unterstützt die entsprechenden Gremien der Gra-

<sup>1</sup> An der TU Darmstadt steht mit dem Hessischen Hochleistungsrechner (HHLR) ein Parallelrechner mit über 500 Prozessoren zur Verfügung.

duiertenschule anschließend, außergewöhnlich talentierte Studenten zum Übergang in die „research phase“ zuzulassen. Dazu gehört neben Präsentationen beispielsweise auch das Verfassen einer wissenschaftlichen Veröffentlichung.

### Wissenschaftliches Arbeiten als Schlüsselqualifikation

Ein besonderes Ziel der Graduiertenschule ist die gezielte Vermittlung von Kompetenz in wissenschaftlichem Arbeiten. Die Errichtung eines „publication and presentation network“ soll den Studenten helfen, über die Grenzen der einzelnen Disziplinen hinaus Fachwissen zu präsentieren und zu diskutieren und damit auch frühzeitig entscheidende Fähigkeiten wie Kommunikation, Diskussionsführung und Entscheidungsfindung, Präsentationstechniken und wissenschaftliches Schreiben oder Wissen um den Schutz geistigen Eigentums und wissenschaftliche Zusammenarbeit zu erlernen. Diese Entwicklung wird durch die Einführung besonderer Aktivitäten wie einer „Graduate School Conference“, eines „Graduate School Journals“ oder der Gründung eines CE-internen wissenschaftlichen Austauschentrums unterstützt. Die Verleihung eines jährlichen „PhD award“ für die beste PhD-Thesis auf dem Gebiet des Computational Engineering wird einen besonderen Höhepunkt an der Graduiertenschule darstellen. Die Kollegiaten sollen darüber hinaus eigenverantwortlich ein Budget für z.B. Sachmittel oder Forschungsreisen verwalten und erhalten die Möglichkeit, durch Aufenthalte an anderen Forschungseinrichtungen oder bei Kooperationspartnern aus der Industrie sowohl ihre persönliche als auch ihre wissenschaftliche Entwicklung voran zu treiben.

### Aufbauarbeit

Die Graduiertenschule befindet sich gegenwärtig im Aufbau. Wichtige Gremien, wie das Board of Deans, und Positionen im wissenschaftlichen sowie administrativen Bereich sind bereits besetzt oder stehen kurz davor. Die drei obengenannten Forschungskomplexe werden durch neu geschaffene Juniorprofessuren ergänzt. Erste Kollegiaten haben bereits ihre Arbeit aufgenommen, wobei den Kollegiaten während der Anlaufzeit verstärkt auch der direkte Einstieg in die „research phase“ ermöglicht wird. Bei der Außendarstellung der Graduiertenschule wie auch der internen Kommunikation wird verstärkt auf internetbasierte



Techniken gesetzt. Auf diese Weise können insbesondere auch internationale Bewerber leichter angesprochen werden.

Der starken fachlichen Interdependenz der von den Kollegiaten zu behandelnden Forschungsthemen wie auch der Bildung einer nach außen sichtbaren Forschergemeinschaft wird durch eine zentrale Unterbringung aller Kollegiaten Rechnung getragen. Auf diese Weise können kurze Kommunikationswege gewährleistet und die Herausbildung eines echten Team-Spirit, der vor Fachbereichsgrenzen nicht Halt macht, unterstützt werden.

Alle Beteiligten arbeiten auf einen möglichst reibungslosen offiziellen Start hin, der noch im Sommer 2008 geplant ist. Es gibt viel zu tun.

### Informationen

Graduate School of Computational Engineering  
Technische Universität Darmstadt  
Dolivostraße 15  
64293 Darmstadt  
[www.graduate-school-ce.de](http://www.graduate-school-ce.de)

Adressen der Autoren  
Prof. Dr. Michael Schäfer (Dean)  
Dr. Markus Lazanowski  
Dr.-Ing. Florian van de Loo  
Graduate School of Computational Engineering  
Technische Universität Darmstadt  
Dolivostraße 15  
64293 Darmstadt  
[schaefer@fnb.tu-darmstadt.de](mailto:schaefer@fnb.tu-darmstadt.de)  
[lazano@gsc.tu-darmstadt.de](mailto:lazano@gsc.tu-darmstadt.de)  
[vandeloo@gsc.tu-darmstadt.de](mailto:vandeloo@gsc.tu-darmstadt.de)