

Studiengangsdokumentation

Masterstudiengang *Mathematics in Data Science*

Fakultät für Mathematik, Technische Universität München

2018

Bezeichnung	Mathematics in Data Science
Organisatorische Zuordnung	Fakultät für Mathematik
Abschluss	Master of Science (M.Sc.)
Regelstudienzeit & Credits	4 Semester & 120 ECTS-Credits
Studienform	Vollzeit
Zulassung	Eignungsverfahren (EV)
Starttermin	WS 2016/17
Sprache	Englisch, einzelne Module in Deutsch (komplett in Englisch studierbar)
Studiengangsverantwortlicher	Prof. Dr. Massimo Fornasier
Ggf. ergänzende Angaben für besondere Studiengänge	Enge Zusammenarbeit mit dem Studiengang der Informatik „Informatik: Data Engineering and Analytics“
Ansprechpersonen bei Rückfragen	Prof. Dr. Massimo Fornasier PD Peter Massopust, Ph.D. Dr. Michael Ritter Mail: master-ds@ma.tum.de
Version / Stand vom 5. März 2018	
Der Studiendekan	Datum
	Unterschrift

1	Studiengangsziele	3
1.1	Zweck des Studiengangs	3
1.2	Strategische Bedeutung des Studiengangs	5
2	Qualifikationsprofil	7
3	Zielgruppen	8
3.1	Adressatenkreis	8
3.2	Vorkenntnisse der Studienbewerber	9
3.3	Zielzahlen	9
4	Bedarfsanalyse	10
5	Wettbewerbsanalyse	12
5.1	Externe Wettbewerbsanalyse	12
5.2	Interne Wettbewerbsanalyse	13
6	Aufbau des Studiengangs	14
6.1	Pflichtbereich	15
6.2	Wahlbereich	16
6.3	Unterstützende Wahlfächer	18
6.4	Masterarbeit	18
6.5	Mobilität	19
6.6	Zusammenfassung der formalen Randbedingungen - Creditbilanz	19
6.7	Beispiele für konkrete Studienpläne	20
6.8	Rechtliche, ökonomische, ethische oder gender-orientierte Aspekte	24
7	Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten	24
7.1	Administrative Zuständigkeiten	25

1 Studiengangsziele

1.1 Zweck des Studiengangs

Big Data ist die treibende Kraft hinter einer Vielzahl einschneidender Veränderungen, die jeden Tag geschehen. Ob es nun ein neuartiges Produkt ist, das auf dem Markt gebracht wird, ein von der öffentlichen Verwaltung angebotener neuer digitaler Service oder eine strategische Entscheidung, die das Leben tausender Menschen beeinflussen wird – visionäre Forscher und Firmengründer haben in den vergangenen Jahren gezeigt, dass Datenerfassung und Datenanalyse technologische Umwälzungen möglich machen, die neue Impulse für die Gesellschaft setzen und beeindruckende, kreative Kräfte freisetzen.

Die Verarbeitung und Auswertung von extrem großen Datenmengen ist ein drängendes Problem in vielen Bereichen und erfordert ganz neue Techniken und Verfahren. Dieser Trend zu „Big Data“ wird durch eine Reihe von Entwicklungen vorangetrieben: Allgegenwärtige Sensoren, Smart Devices und die Verbreitung sozialer Netzwerke sorgen für eine immer größere Menge von Daten, die praktisch ohne Zusatzaufwand erfassbar wird, und günstige Speicherpreise ermöglichen eine wirtschaftliche Erfassung über lange Zeiträume hinweg. Weiterhin können diese großen Datenmengen durch technische Fortschritte wie schnelle Multi-Core-Systeme und Cloud-Computing effizient verarbeitet werden. Schließlich werden solche Datenmengen nicht mehr nur in „klassischem“ Kontext von Geschäftsanwendungen erzeugt, sondern fallen inzwischen in sehr vielen Lebensbereichen an. Ein prominentes Beispiel ist der Gesundheitsbereich, insbesondere Verfahren der In-Vitro-Diagnostik und der Genomanalyse, wo es in den letzten Jahren ein enormes Marktwachstum gegeben hat, einhergehend mit einem starken Anstieg der Investitionen in Forschung und Entwicklung. Beispielhaft genannt sei die Firma Numares Health¹, die neuartige, sehr zuverlässige Marker für die Diagnose lebensbedrohlicher Krankheiten durch die Analyse sehr großer Datenmengen entwickelt. Völlig neue Märkte entstehen aus dem Zusammenspiel von neuen Datenanalyse-Verfahren und der Verfügbarkeit von hochempfindlichen Mikrosensoren, die in vielen tragbaren Geräten eingesetzt werden können. Ein gutes Beispiel ist das tragbare Spektrometer „SCiO“ von Verifood LTD², das als tragbarer Echtzeit-Molekularsensor dient und beispielsweise die Zusammensetzung von Nahrungsmitteln durch Abgleich des optischen Spektrums mit einer riesigen, online verfügbaren Datenbank ermitteln kann. Diese Technik ist für Diabetes-Patienten eine große Erleichterung, weil sie einen automatischen Abgleich von Ernährung und Insulin-Gabe auf der Basis gesicherter Daten ermöglicht. Andere wichtige Anwendungsbereiche ergeben sich in Gebieten wie „Smart Grids“, autonome Fahrzeuge oder in der Finanzmarktanalyse. Die Liste der Disziplinen, die durch die intelligente Nutzung der großen verfügbaren Datenmengen Fortschritte erzielen und weitere erhoffen, ist lang. In einer Studie des Fraunhofer Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) über „Gesamtwirtschaftliche Potenziale intelligenter Netze in Deutschland“ von 2012 wird ein gesellschaftlicher Gesamtnutzen von 55,7 Mrd. Euro pro Jahr erwartet.

Gleichzeitig wächst in der Gesellschaft das Bewusstsein um den Wert der Daten und für die Notwendigkeit eines effektiven Datenschutzes. Der Umgang mit den Enthüllungen rund um die NSA, aber auch Sorgen um mangelnde Kontrolle (etwa im Finanzwesen), führen zu einer Debatte über

¹ <http://www.numares-health.com>

² <https://www.consumerphysics.com/myscio/>

Datenschutz und Datensicherheit, für die auch technische Expertise gefordert ist. Die Kombination aus technologischem Fortschritt und sozialer Entwicklung stellt die Datenverarbeitung vor sehr große Herausforderungen. Zum einen ist es technisch sehr anspruchsvoll, große, sich schnell ändernde, und häufig auch sehr inhomogene Daten zu verarbeiten. Dies fasst man häufig zusammen unter dem Begriff der „vier V's der Big Data“, „Volume“, „Velocity“, „Variety“, und „Veracity“. Zum anderen ist auch die Interpretation der Daten oft schwierig und erfordert komplexe mathematische Modelle. Das angestrebte Ideal ist deshalb eine teilweise interaktive Auswertung und Exploration von komplexen und sehr großen Datensammlungen, um so neue Erkenntnisse zu gewinnen. Insbesondere müssen hier notwendigerweise der informatische und der mathematische Aspekt harmonisch und gleichberechtigt zusammenspielen, um Zugriff und Analyse dieser großen Datenmengen zu ermöglichen.

Reagierend auf diese Entwicklung haben deshalb die Fakultäten für Mathematik und Informatik der TUM die Masterstudiengänge „Mathematics in Data Science“ bzw. „Informatik: Data Engineering and Analytics“ eingerichtet. Beide Studiengänge zielen darauf ab, die Studierenden mit Techniken der Datenhaltung und Datenanalyse vertraut zu machen, die zur Erfassung und Auswertung großer Datenmengen notwendig sind. Schwerpunkt des Studiengangs „Mathematics in Data Science“ sind dabei Methoden und Algorithmen aus der Statistik, aus dem Machine Learning, der Optimierung und aus der Theorie der Datenrepräsentation (siehe hierzu 2. Qualifikationsprofil). Der Studiengang vermittelt neben den notwendigen theoretischen Grundlagen auch konkrete Techniken zur Datenauswertung. Die Studierenden erarbeiten sich die Kompetenzen, dem jeweiligen Ziel angemessene Methoden zu wählen, anzupassen oder auf der Basis ihres breiten Wissensschatzes neue Verfahren zu entwickeln. Insbesondere vermittelt der Studiengang ein tiefgreifendes Verständnis der mathematischen Methoden zur Modellierung und Analyse sehr großer Datenmengen und zur Berechnung, Simulation und Vorhersage komplexer Phänomene. Das erfordert neue Techniken, Methoden und Algorithmen, die Kompetenzen aus mehreren Fachbereichen miteinander verbinden. Ein wichtiger Teil des Studiengangs ist daher auch der Erwerb praktischer Kenntnisse und Fertigkeiten zum Umgang, zur Speicherung und zur Verarbeitung großer Datenmengen. Von besonderer Bedeutung ist hier das Zusammenspiel von Mathematik und Informatik, um anspruchsvolle analytische Techniken und effiziente Algorithmen zum Zugriff auf große Datenmengen zu verbinden.

Der Schwerpunkt des Studiengangs „Informatik: Data Engineering and Analytics“ liegt dagegen auf der technisch-algorithmischen Seite. Der effiziente und effektive Umgang mit Hard- und Software, die Nutzung spezieller Techniken und Algorithmen zum Erfassen und Speichern von Daten sowie zum Data Mining werden dort vertieft behandelt. Auch hier sind Kenntnisse der mathematischen Theorie unabdingbar, sie werden aber nicht in derselben Tiefe vermittelt.

Eine enge Zusammenarbeit und Verzahnung der beiden neuen Masterstudiengänge „Mathematics in Data Science“ und „Informatik: Data Engineering and Analytics“ ist essentiell, um trotz der deutlichen Schwerpunktsetzung auch ein breit angelegtes Grundlagenwissen zu vermitteln und so die Basis für eine erfolgreiche Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams zu legen. Zahlreiche Veranstaltungen beider Fakultäten sind für beide Studiengänge relevant, der hohe Anteil an Vorlesung aus der Informatik und aus anderen Anwendungsbereichen trägt diesem Gedanken Rechnung.

Dem anwendungsorientierten Profil der TUM trägt die Mathematik bereits jetzt mit erfolgreichen

Masterprogrammen in „Mathematical Finance and Actuarial Sciences“, „Mathematics in Operations Research“, „Mathematics in Science and Engineering“ und „Mathematics in Bioscience“ Rechnung. In zahlreichen Anwendungsgebieten wächst dabei die Bedeutung von Data Science und „Big Data“, so dass auch das Modulangebot diese Aspekte verstärkt zu berücksichtigen versucht. Auf dem internationalen Arbeitsmarkt werden zunehmend hochqualifizierte Fachkräfte im Data Science-Bereich nachgefragt. Der neue Studiengang betont daher diese spezifischen Qualifikationen und schließt mit einem entsprechenden Titel ab. Mit einer klaren Fokussierung auf Big Data-Aspekte wird sichergestellt, dass unsere Absolventen optimal auf alle Herausforderungen der Berufswelt vorbereitet sind. Im Unterschied zu den anderen Masterprogrammen betont der Studiengang auch sehr stark interdisziplinäre Aspekte durch die enge Kooperation mit der Informatik und anderen Fachbereichen, deren Veranstaltungen als zentrale Elemente in den Studiengang integriert sind.

Das Lehrangebot der Fakultät wird einerseits durch den Master-Studiengang „Mathematics in Data Science“ um wichtige Aspekte gestärkt, andererseits werden verschiedene andere Bemühungen gebündelt, so dass auch die bestehenden Studiengänge entscheidend vom neuen, fokussierten Lehrangebot für den Master „Mathematics in Data Science“ profitieren werden. Der Studiengang stellt somit eine hervorragende Ergänzung zu den vorhandenen Angeboten dar, die jeweils auf bestimmte Anwendungsbereiche fokussieren, bietet aber auch eine ausreichende Breite für ein eigenständiges wissenschaftliches Profil.

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs

Big Data wird auch als das „Öl der Zukunft“ bezeichnet, die ohne Zweifel vorhandenen großen Datenmengen haben einen unschätzbaren wirtschaftlichen Wert, wenn es gelingt, relevante Informationen aus diesen Daten zu gewinnen. Zahlreiche innovative Start-Ups und neue Produkte und Dienstleistungen entstehen im Umfeld von Big Data. Die TUM als „Dienerin der Innovationsgesellschaft“³ und in ihrer Rolle als unternehmerische Universität ist hier gefragt, die Erfolge aus der Forschung in diesem Bereich auch in die Ausbildung zu tragen. Big Data als Querschnittsthema zwischen verschiedenen Fachbereichen hat sich zu einem attraktiven Forschungsgebiet entwickelt, in dem sehr verschiedenen mathematische Aspekte mit konkreten Anwendungen aus den unterschiedlichsten Bereichen zusammenspielen, um aktuelle Fragestellungen der Datenanalyse und Datenverarbeitung zu lösen.

Sowohl die TUM als auch die Fakultät für Mathematik legen einen wichtigen Schwerpunkt ihrer Arbeit auf die internationale Vernetzung von Forschung und Lehre. Auch hier wird der Studiengang „Mathematics in Data Science“ einen wichtigen Beitrag leisten: Es ist geplant, einen Austausch von Studierenden mit der Duke University im Rahmen der „Data +“-Initiative⁴ dieser Universität zu organisieren. Die Studierenden sollen dabei in interdisziplinären und internationalen Teams unter Anleitung eines Mentors eigenständig an Projekten aus Industrie und Forschung arbeiten. Neben der Netzwerkbildung trägt dieses Programm auch zur Förderung von Weltoffenheit und kultureller

³ Leitbild der TUM (<http://www.tum.de/die-tum/die-universitaet/leitbild/>)

⁴ (<http://bigdata.duke.edu/data>)

Toleranz bei und fördert den Dialog zwischen den jungen Wissenschaftlern. Ähnliche Kooperationen und Austauschprogramme im Rahmen des neuen Studiengangs sind auch mit der University of Maryland, der New York University und der DTU Kopenhagen geplant. Dort wird gerade über den Start eines Masterprogramms zu den Herausforderungen von Big Data nachgedacht, eine solche Partnerschaft könnte selbstverständlich auch Grundlage einer breiter angelegten Kooperation mit anderen Technischen Universitäten in ganz Europa sein.

Der Studiengang „Mathematics in Data Science“ passt sich hervorragend in die Lehr- und Forschungsstrategie der Fakultät ein. Die Fakultät für Mathematik verfolgt mit ihrer Lehrstrategie ein Y-Modell (vgl. Abbildung 1), in dem der Masterstudiengang Mathematik (mit dem Bachelorstudiengang Mathematik) als Teil des „klassischen Mathematik-Studiums“ einen festen Platz einnimmt. Das Y-Modell sieht vor, dass auf den grundständigen Mathematik-Bachelorstudiengang entweder der insgesamt breit ausgerichtete Masterstudiengang Mathematik oder einer der spezialisierten Masterstudiengänge (Mathematical Finance and Actuarial Science, Mathematics in Science and Engineering, Mathematics in Data Science, Mathematics in Operations Research) folgt. Letztere zeichnen sich durch die Konzentration auf jeweils einen konkreten, mathematischen Anwendungsbereich aus (z.B. Optimierung im Master of Mathematics in Operations Research) sowie durch ein klares Ausbildungsprofil für bestimmte berufliche Tätigkeitsfelder. Es wird dabei großer Wert auf eine interdisziplinäre Ausbildung in Kooperation mit den jeweiligen Anwendungsfeldern gelegt. Im Unterschied dazu eröffnet der Mathematik-Master die Möglichkeit, eigene fachliche Schwerpunkte über die volle Breite des mathematischen Spektrums und so ein individuelles, mathematisches Kompetenzprofil mit stärkerem Fokus auf Forschungsbefähigung zu wählen. Für herausragende Studierende bietet die Fakultät mit dem TopMath-Programm darüber hinaus ein Elitestudienprogramm im Elitenetzwerk Bayern an, das nach dem Abschluss des Bachelorstudiums direkt zur Promotion im Fach Mathematik führt. TopMath-Studierende forschen unter Anleitung international renommierter Professorinnen und Professoren verschiedener Forschungsrichtungen in der Reinen und Angewandten Mathematik sowie in verwandten Bereichen der Informatik.

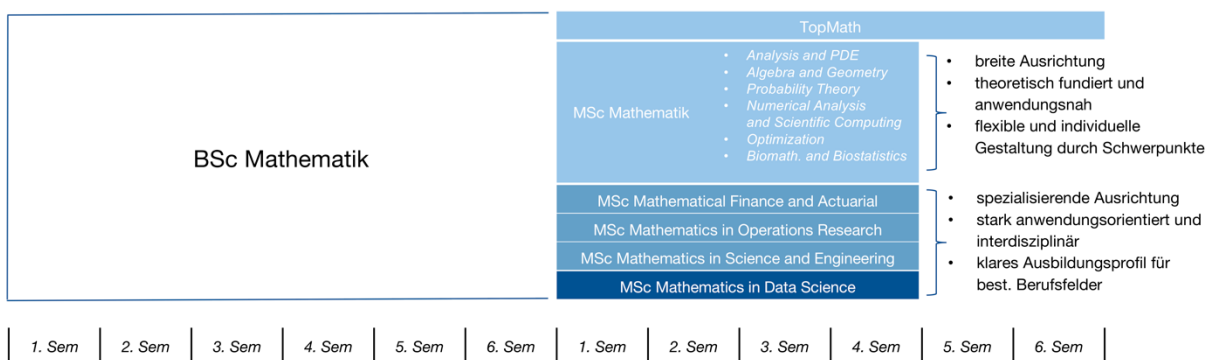
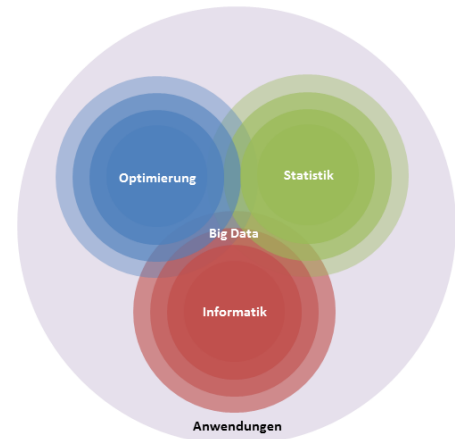


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Lehrstrategie der Fakultät für Mathematik

Darüber hinaus ist die Fakultät in den Forschungsschwerpunkten Optimierung und Statistik in Kombination deutschlandweit führend aufgestellt und damit prädestiniert für den Bereich BigData als Schnittmenge dieser Schwerpunkte mit der Informatik.

2 Qualifikationsprofil

Im Berufsleben nach erfolgter Ausbildung werden unsere Absolventen etwa als Data Analyst z.B. in Technologieunternehmen hoch skalierbare Lösungen entwickeln, mit denen im großen Maßstab Daten erhoben, gespeichert, ausgewertet und analysiert werden können. Kernkompetenz eines Data Analyst ist es, relevante Informationen aus große Datenbeständen herauszufiltern und aus diesen Informationen Einsichten zu gewinnen, die informierte strategische Entscheidungen ermöglichen. Darüber hinaus sollte er/sie Bewusstsein für den sicheren Umgang mit sensiblen Daten besitzen. Absolventen des Studiengangs „Mathematics in Data Science“ zeichnen sich besonders durch folgende Fertigkeiten und Kompetenzen aus:



- Die Absolventen kennen verschiedene statistische Methoden zur Klassifikation und Bewertung großer Datenmengen (beispielsweise Sequenz- und Clusteranalyse). Sie sind in der Lage, diese Methoden zielgerichtet anzuwenden und ihre jeweiligen Möglichkeiten und Grenzen zu beurteilen.
- Die Absolventen kennen Methoden der Darstellung und der Reduktion großer Datenmengen, mit denen sich die Daten auf bestimmte strukturelle Merkmale hin untersuchen lassen (beispielsweise Spektralanalyse, Compressed Sensing). Sie sind in der Lage, diese Methoden in der Praxis anzuwenden und die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft einzuschätzen.
- Basierend auf verschiedenen Analyseverfahren sind die Absolventen in der Lage, mathematische Modelle zu entwickeln, mit denen sich Zusammenhänge in den Daten erkennen und analysieren lassen
- Darauf aufbauend entwickeln sie komplexe Vorhersagemodelle, die Aussagen über die Daten und über künftige Entwicklungen ermöglichen. Dazu verwenden und entwickeln sie hochdimensionale Darstellungen der Daten und geeignete Optimierungsverfahren aus der diskreten, kombinatorischen und nichtlinearen Optimierung in Kombination mit statistischen Verfahren, um Einsichten zu gewinnen, die informierte strategische Entscheidungen ermöglichen (beispielsweise Machine Learning, Support Vector Machines, Dictionary Learning, Manifold Learning, neuronale Netze, Kern-Methoden).
- Sie können die Aussagekraft ihrer Vorhersagen beurteilen und sind in der Lage, die Ergebnisse ihrer Analysen in geeigneter Weise sowohl für wissenschaftlich bzw. technisch geschultes Fachpersonal als auch für fachfremde Personen zu visualisieren und zu kommunizieren.
- Die Absolventen kennen Methoden der sicheren und vertraulichen Datenhaltung und sind mit der Problematik anonymisierter und aggregierter Daten vertraut. Sie sind in der Lage, bestehende Prozesse im Hinblick auf Datensicherheit und –vertraulichkeit zu untersuchen, Schwachstellen zu erkennen und Methoden zu verbessern bzw. neu zu entwickeln, die eine sichere Datenhaltung ermöglichen.

- Die technischen Grundlagen der Speicherung und Analyse sind den Absolventen bekannt. Sie können mit den gängigen Software-Werkzeugen zur mathematischen Analyse (z.B. R, SAS Enterprise Miner, SPSS Clementine, Matlab) umgehen und sind in der Lage, geeignete Werkzeuge für ein gegebenes Problem auszuwählen erfolgreich einzusetzen. Darüber hinaus besitzen sie grundlegende Kenntnisse im Data Engineering und sind in der Lage, im Team mit Spezialisten auf diesem Bereich integrierte Lösungen zur Erhebung, Speicherung, Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen zu konzipieren, zu implementieren und weiterzuentwickeln.
- Die Absolventen des Masterstudiengangs „Mathematics in Data Science“ sind in der Lage, auf Basis des aktuellen Stands der Forschung Fragestellungen bzgl. weiterführender Probleme zu identifizieren, Forschungshypothesen zu formulieren und einen Forschungsplan aufzustellen. Ferner sind sie in der Lage, wissenschaftliche Untersuchungen einschließlich der Datenerhebung, Datenaufzeichnung und Interpretation unter Verwendung adäquater Methoden (z.B. Visualisierung) durchzuführen. Sie können ihre Forschung und die Resultate in angemessener Weise schriftlich und mündlich sowohl gegenüber der eigenen wissenschaftlichen Community als auch gegenüber Laien kommunizieren.
- Die Absolventen sind in der Lage, die gesellschaftlichen Herausforderungen des praktischen Umgangs mit großen Datenmengen und den darin enthaltenen Informationen zu beurteilen. Sie können die Folgen ihres Handelns einschätzen und sind für Fragen der Datensicherheit sensibilisiert. Im Rahmen ihrer Analysen berücksichtigen sie mögliche gesellschaftliche Implikationen. Bei der Entwicklung und Anpassung von Analyseverfahren achten sie besonders auf Datensicherheit und auf die Vertraulichkeit personenbezogener Daten.

Von den Absolventen des Informatik-Studiengangs „Data Engineering and Analytics“ unterscheiden sie sich in ihren weitergehenden mathematischen Fähigkeiten: Sie sind in der Lage, komplexe Verfahren zur Datenaufbereitung und Datenanalyse im Detail zu verstehen, komplexe Modelle an konkrete Problemstellungen anzupassen, zu kombinieren oder neu zu entwickeln und daraus Vorhersage- und Klassifikationsmodelle abzuleiten. Sie können die Möglichkeiten und Grenzen verschiedener Algorithmen beurteilen und Algorithmen zur Lösung spezifischer Problemstellungen weiterentwickeln. Demgegenüber verstehen sich Absolventen des Informatik-Studiengangs besser auf den Umgang mit technischen Werkzeugen, auf die Umsetzung von Algorithmen mit Hilfe moderner Rechnertechnik sowie auf effiziente, dem jeweiligen Algorithmus angepasste Datenstrukturen.

3 Zielgruppen

3.1 Adressatenkreis

Der Studiengang richtet sich vor allem an Studierende mit einem abgeschlossenen Bachelor-Studium in Mathematik mit Vorkenntnissen in Informatik, etwa aus dem Nebenfach, und Informatik mit Nebenfach Mathematik, die sich in Data Science spezialisieren wollen. Ein Studieninteressent wählt den Mathematik-Studiengang, wenn er den Schwerpunkt auf mathematische Methoden der Datenanalyse legen will; liegt das Interesse eher im Bereich der technischen Datenverarbeitung, so wählt er den Informatik-Studiengang. Ein Studium beider Studiengänge ist ausgeschlossen; jeder Master-Student erhält aber auch im Mathematik-Studiengang grundlegende Kenntnisse und Fertigkeiten der informatischen Aspekte der Datenverarbeitung.

3.2 Vorkenntnisse der Studienbewerber

Bewerber für den Studiengang *Mathematics in Data Science* benötigen mathematische Grundlagen aus der Analysis und der Linearen Algebra im Umfang eines mathematischen oder informatischen Grundstudiums (1. und 2. Semester der Bachelor-Studiengänge), der algorithmischen Mathematik (grundlegende Begriffe der Algorithmik, Datenstrukturen, Algorithmen aus der diskreten Mathematik, Graphenalgorithmen) sowie aus der grundlegenden Wahrscheinlichkeitstheorie (diskrete Wahrscheinlichkeitstheorie, Grundlagen der Maß- und Integrationstheorie). Weiterhin werden nur elementare Kenntnisse aus der Informatik (Grundlagen der Programmierung, Kenntnis einer gängigen Programmiersprache, methodische Grundlagen der Informatik, Aufbau von und Umgang mit Datenbanksystemen) erwartet.

Der Studiengang wird in englischer Sprache angeboten, er richtet sich daher ausdrücklich auch an internationale Studierende. Um sicherzustellen, dass ausreichende Grundlagen sowohl aus der Mathematik als auch aus der Informatik bei den Bewerberinnen und Bewerbern für den Studiengang vorhanden sind, führt die Fakultät ein Eignungsverfahren durch. Neben der Note aus dem vorhergehenden Bachelor-Studium spielen dafür auch die Qualifikation und die Motivation und Leistungsbereitschaft für die Auswahl eine Rolle. Das detaillierte Verfahren wird in der Fachprüfungs- und Studienordnung dargestellt. Internationale Studierende sollen ein Mindestmaß an Kenntnissen der deutschen Sprache mitbringen oder zeitnah zu Beginn ihres Studiums erwerben. Dies ist wichtig für die Integration in den Studienalltag, in dem die Studierenden mit deutschen Kommilitonen zusammen studieren, Arbeits- und Projektgruppen bilden, und sich zwar im professionellen Umfeld in der Fachsprache Englisch verständigen, aber im alltäglichen Umgang auch immer mal wieder auf Deutsch gewechselt wird. Auch in alltäglichen Situationen im privaten oder beruflichen Umfeld, z.B. als Werkstudierende, werden sie mit Deutsch konfrontiert und müssen rasch lernen, sich hier zurechtzufinden.

3.3 Zielzahlen

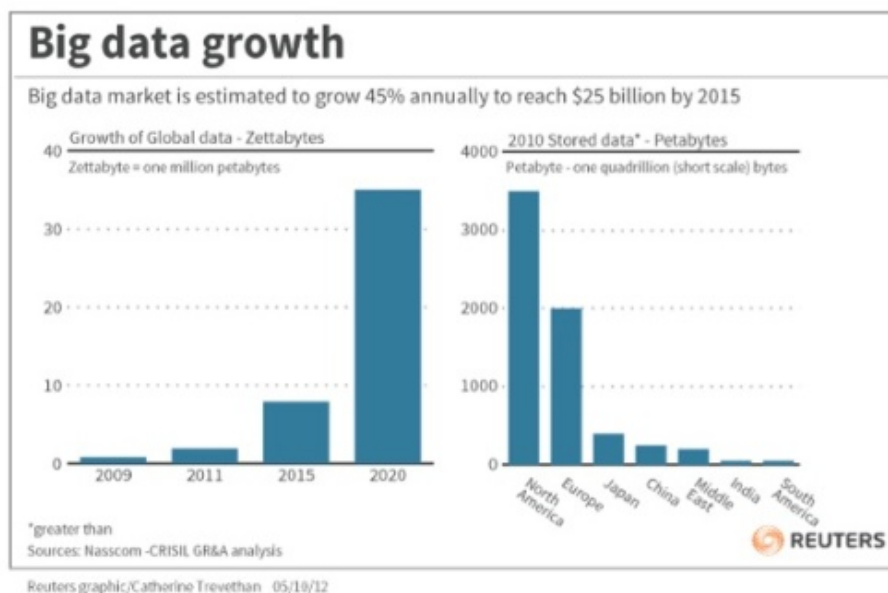
Derzeit wählen ca. 30% (im Wintersemester 2017/18 waren es 70 von insgesamt 200 Studienanfängern) unserer Bachelor-Absolventen das Nebenfach Informatik. Für die Mehrzahl dieser Studierenden dürfte der Studiengang „Mathematics in Data Science“ eine sehr attraktive Wahl sein. Als Vorreiter in diesem Bereich in der deutschen Hochschullandschaft erwarten wir auch eine merkbare Nachfrage von Bachelor-Absolventen anderer deutscher Hochschulen. Da es auch europaweit nur wenige vergleichbare Studiengänge gibt (wir kennen aktuell nur eine französische Initiative für ein derartiges Masterprogramm in Big Data an der *École nationale de la statistique et de l'analyse de l'information*), rechnen wir darüber hinaus auch mit einer steigenden Nachfrage aus dem europäischen Ausland, etwa aus Spanien und Italien. Eine Zahl von 40-50 Studierenden je Jahrgang ist damit eine realistische Zielgröße auch für die Zukunft, die sich mit den aktuellen Mitteln auch abdecken lässt.

	2016/17	2017/18	WiSe18/19
Bewer- bungen	161	209	168
Neuim- matrikula- tionen	19	45	

Entwicklung der Bewerbungs- und Immatrikulationszahlen für den Studiengang Master Mathematic in Data Science

4 Bedarfsanalyse

Im Oktober 2012 lautete der Titel des Harvard Business Review “Data Scientist: The Sexiest Job of the 21st Century”. Auszug: “...Data scientists are the key to realizing the opportunities presented by big data. They bring structure to it, find compelling patterns in it, and advise executives on the implications for products, processes, and decisions. They find the story buried in the data and communicate it. And they don’t just deliver reports: They get at the questions at the heart of problems and devise creative approaches to them....”. In der Studie “Worldwide Big Data Technology and Services, 2012–2015 Forecast” durchgeführt vom IDC, wird für Big Data Technologie und -Anwendungen weltweit eine jährliche Wachstumsrate von 40% vorhergesagt – ungefähr das Siebenfache wie



für den ICT Markt insgesamt.

In Industrie und Wirtschaft sind Fachkräfte mit dem Ausbildungsprofil aktuell sehr gesucht, dass der Studiengang „Mathematics in Data Science“ anbieten wird. In einer Ausschreibung⁵ sucht die Firma Zalando⁶ etwa nach hervorragend ausgebildeten Mathematikern mit folgendem Profil: “Welcome to Zalando, one of the most exciting places for quantitative scientists in Europe. Our department develops and applies highly scalable algorithms to optimize all kinds of Zalando processes. Current live projects include data-driven price recommendation algorithms, product recommendation for our website, fraud detection for orders, optimizing the mix of channels for marketing and much more. We do optimization and create mathematical models, apply state-of-the-art algorithms to our gigantic database, visualize the results and get the impact, all while keeping our focus on increasing customer satisfaction and creating shareholder value. If you have a good idea, you will have the tools to calculate it, the data to test it and millions of customers in 15 countries to benefit from the results. Bold projects, detailed analysis, quick turnaround and fun at work: that is data science at Zalando.”

Nicht nur Zalando, auch viele andere etablierte Unternehmen sind potenzielle Arbeitgeber für unsere Studierenden: Google (mit einer Niederlassung in München), Allianz, Siemens (zu beiden bestehen schon Kontakte im Bereich Data Science), Munich Re, Roche (individualisierte Medikamente, Diagnostik), aber auch kleine und mittelständische Firmen in Bayern wie die Start-Up-Firma Celonis⁷ (gegründet von Alumni der Fakultät für Mathematik der TUM) oder Numares Health⁸, ein Spezialunternehmen für In-Vitro-Diagnostik, mit denen ebenfalls schon Kontakte seitens der Fakultät für Mathematik bestehen. All diese Unternehmen sind in Bereichen aktiv, in denen nicht nur große Datenmenge anfallen, sondern in denen eine schnelle und effektive Analyse der in den Daten enthaltenen Informationen entscheidende Wettbewerbsvorteile verschafft. Teilweise, etwa in medizinischen Anwendungen, ist die Analyse großer Datenmengen sogar das zentrale Geschäftsmodell. Viele dieser Firmen sind in München bzw. in Bayern beheimatet oder mit großen Niederlassungen dort vertreten, entsprechende Kontakte können also auch für Praktika und gemeinsame Lehr- und Forschungsprojekte im Rahmen des Studiengangs genutzt werden, was unseren Absolventen einen wichtigen Vorsprung gegenüber anderen Bewerbern verschafft. Gleichzeitig intensivieren sich über das damit entstehende Alumni-Netzwerk auch die Kontakte zur TUM als kompetenter Ansprechpartner – auch hier bietet die enge Zusammenarbeit mit der Informatik und mit anderen Fakultäten einen entscheidenden Vorteil, weil durch die fächerübergreifende Kooperation ein sehr breites Anwendungsspektrum abgedeckt werden kann.

Eine Studie⁹ von SAS UK vom Oktober 2014 stellt für den britischen Stellenmarkt fest: “Under the preferred growth scenario, big data demand (vacancies) is expected to grow by 160 per cent between 2013 and 2020 the equivalent of an annual average growth rate of 23 per cent per year.” Der

⁵ <http://www.numares-health.com>

⁵ <https://www.consumerphysics.com/myscio/m/myscio/>

⁶ Leitbild der TUM (<http://www.tum.de/die-tum/die-universitaet/leitbild/>)
m/die-universitaet/leitbild/)

⁷ (<http://bigdata.duke.edu/data>)

ata)

YPERLINK "http://www.numares-health.com" |<http://www.numares-health.com> }

⁹ https://www.e-skills.com/Documents/Research/General/BigData_report_Nov14.pdf

hohen Nachfrage nach qualifizierten Absolventen steht allerdings nicht das adäquate Angebot gegenüber: „[...] not only were big data staff harder to recruit per se, but also [...] a much larger proportion of staffing specialists (43 per cent) considered such positions as being ‘very difficult’ to fill during the past year (again due to difficulties finding potential candidates with the required levels of skills/knowledge/experience).

5 Wettbewerbsanalyse

5.1 Externe Wettbewerbsanalyse

Mehrere herausragende amerikanische Universitäten haben die „Big Data Initiative“ zum Anlass genommen, entsprechende Forschungs- und Studienprogramme ins Leben zu rufen, so etwa das MIT mit der „MIT Big Data Initiative“¹⁰, die Stanford University mit dem Programm „Big Data in Medicine“¹¹ oder die Duke University mit ihrer „Information Initiative“. In Frankreich wurde kürzlich eine nationale Initiative „Big Data FR“ ausgerufen und an der École nationale de la statistique et de l’analyse de l’information (ENSAI)¹² wurde ein Master-Studiengang „Big Data“¹³ ins Leben gerufen. An der Ludwig-Maximilians-Universität München existiert ein Studiengang „Data Science“ mit Schwerpunkt in Informatik und Statistik. Sich davon absetzend steht im TU-Umfeld natürlich die Anwendung von Big Data im Vordergrund, auch im stärker auf Theorie fokussierten Schwerpunkt. Insbesondere gehen die geplanten Inhalte weit über rein statistische Verfahren hinaus, gerade die Kombination aus Graphen- und Netzwerk-basierten Modellen, intelligenter Signalverarbeitung, Verfahren des statistischen Lernens, solide technische Grundlagen aus der Informatik (Datenbanken, verteiltes Rechnen, effiziente Such- und Filterverfahren) zusammen mit dem fächerübergreifenden Aspekt sind ein Alleinstellungsmerkmal der beiden geplanten Studiengänge.

In den USA haben die Relevanz und die gesellschaftliche Wahrnehmung von „Big Data“ bereits einen hohen Stellenwert erreicht, sogar im letzten Präsidentschafts-Wahlkampf zur Wiederwahl von Mr. Barak Obama spielte sie eine bedeutende Rolle. Eine der prominentesten strategischen Entscheidungen von Präsident Obama war der Start der sogenannten „Big Data Initiative“¹⁴ am 29. März 2012. Durch dieses Programm werden Forschungsinitiativen rund um Data Science, Data Analysis und Data Engineering auf dem Weg zu einer „data driven economy“ massiv gefördert. Aber auch auf dem „alten Kontinent“ ist man sich der technologischen, gesellschaftlichen, ökonomischen und politischen Auswirkungen von „Big Data“ bewusst. Im Juli 2014 startete die Europäische Kommission eine „New Strategy on Big Data“¹⁵. Weiterhin fügt sich ein solcher Schwerpunkt nicht nur nahtlos in die Initiative „Bayern Digital“ ein, sondern ist sogar angesichts der aktuellen Interessenslage ein notwendiger Bestandteil dieser Initiative.

¹⁰ <http://bigdata.csail.mit.edu/>

¹¹ <http://bigdata.stanford.edu/>

¹² <http://www.ensai.fr/academics/msc-in-big-data.html>

¹³ http://ensai.fr/files/_media/documents/International%20-%20documents/BigData-final-webA4.pdf

¹⁴ http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/big_data_press_release.pdf

¹⁵ <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/towards-thriving-data-driven-economy>

In Deutschland kommt bisher erst langsam Bewegung in die Ausbildungslandschaft¹⁶. In der Forschung wurde vor kurzem die „Big Data Allianz“ der Fraunhofer Institute ins Leben gerufen¹⁷. Die DFG hat neue Programme aufgelegt wie „Compressed Sensing in der Informationsverarbeitung (SPP 1798)“ oder „Algorithms for Big Data (SPP 1736)“.

Im Bereich „Mathematical Data Modeling and Analysis“ hingegen ist noch keine Entwicklung eigener Studienprogramme in der deutschen Hochschullandschaft ersichtlich. In der Ausbildung in deutschen Mathematikstudiengängen wird zwar in den unterschiedlichen Bereichen (z.B. mathematische Analysis, mathematische Statistik oder Diskrete Optimierung) auf die Herausforderungen der mathematischen Datenmodellierung und der Analyse eingegangen, es hat sich aber noch kein eigenständiger Studiengang entwickelt. Hier haben wir mit unserem Studienprogramm angesetzt und die Stärken der TUM im Bereich der angewandten Mathematik und der praktischen Informatik genutzt.

5.2 Interne Wettbewerbsanalyse

Als Elite-Universität muss die TUM gerade bei innovativen, aber komplexen Themen Flagge zeigen und das Thema mit einem eigenen Studienangebot bedienen, um nicht gegenüber Konkurrenz-Universitäten an Boden zu verlieren. Weiterhin muss sich hier die TU den relevanten Firmen, von denen gerade in München viele beheimatet sind, als kompetenter Ansprechpartner präsentieren, der dieses aktuelle Thema wissenschaftlich und lehrmäßig abdeckt. Als unternehmerische Universität ist es zudem von großer Bedeutung, unseren Absolventen die fachlichen und Fähigkeiten und Kompetenzen zu vermitteln, die sie zur Lösung technischer und gesellschaftlicher Probleme befähigen und die für erfolgreiche Ausgründungen und die Mitarbeit in kleinen, innovativen Start Ups wichtig sind. Gerade der Bereich „Big Data“ spielt in anderen Studiengängen in einzelnen Modulen nur eine untergeordnete Rolle. Die beiden neuen Studiengänge sollen gerade den Aspekt „Big Data“ in den Mittelpunkt stellen, sie integrieren dabei auch passende Module aus anderen Studiengängen (IN, EI, ME, ...). Als interdisziplinärster Studiengang der Fakultät und durch seine Struktur (Austausch mit anderen Studiengängen, Industrie und Wirtschaft, Naturwissenschaften) fördert der Studiengang auf besondere Weise das Unternehmertum und erweitert dadurch sinnvoll das Angebot der TUM.

Tabelle 1 Inhaltliche Abgrenzung der mathematischen Studiengänge

Master Studiengang	Schwerpunkt
Master Mathematik	Reine Mathematik oder keinen Schwerpunkt
Master Mathematical in Finance and Actuarial Science	Statistik/ Wahrscheinlichkeitstheorie
Master Mathematics in Data Science	BigData

¹⁶ <http://www.curtalo.de/lounge/studiengaenge-datenexperten/>

¹⁷ <http://www.bigdata.fraunhofer.de/>

Master Mathematics in Operations Research	Optimierung
Master Mathematics in Bioscience	Mathematische Modellbildung
Master Mathematics in Science and Engineering	Numerik

Vom parallelen Masterstudiengang „Data Engineering and Analytics“ der Informatik grenzt sich der Studiengang „Mathematics in Data Science“ durch einen klaren Fokus auf mathematische Methoden der Datenanalyse, Datenverarbeitung, Modellierung und Algorithmik ab (Struktur siehe Ressourcentabelle). Insbesondere erlangen unsere Studierenden die Fähigkeiten, vorhandene Modelle und Methoden für konkrete Problemstellungen anzupassen, zu kombinieren und weiterzuentwickeln sowie auf Basis eines breiten Wissensschatzes neuartige Modelle und algorithmische Ansätze für die Analyse großer Datenmenge zu entwerfen. Methoden der Optimierung, der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung, des maschinellen Lernens sowie Verfahren der Datenrepräsentation, -kompression und -klassifikation erhalten daher breiten Raum in diesem Studiengang. Im Fokus des Studiengangs „Informatik: Data Engineering and Analytics“ stehen dagegen praktische Werkzeuge der Datenanalyse und der Informationsverarbeitung sowie effiziente Algorithmen und geeignete Datenstrukturen und deren Umsetzung auf aktueller Hard- und Software. Da eine interdisziplinäre Zusammenarbeit gerade im Big Data-Bereich von großer Bedeutung ist, vermitteln beide Studiengänge aber auch wichtige Grundlagen aus dem jeweils anderen Bereich.

Neben der Informatik, der eine sehr wichtige Rolle als strategischer Partner in diesem Studiengang zukommt, werden auch geeignete Module anderer Fakultäten und Einrichtungen der TUM eingebunden. So bestehen Kontakte zur Carl von Linde-Akademie, zum MCTS sowie zu den Fakultäten EI, MW und Medizin, thematisch passende Module können also auch in den neuen Studiengang eingebunden werden.

6 Aufbau des Studiengangs

Der Studiengang umfasst als Vollzeitstudiengang vier Semester (120 Credits). Der Studienbeginn fand zum Wintersemester 2016/2017 statt und seitdem ist ein Studienbeginn sowohl im Winter- als auch im Sommersemester möglich. Der Aufbau des Studiengangs richtet sich an seinem Qualifikationsprofil aus (vgl. Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die Ausbildung hat das Ziel, die Studierenden auf der Basis vermittelter Methoden und Kompetenzen zu eigenständiger Forschungsarbeit anzuregen. Auf der Basis **vertieften Grundlagenwissens** konzentrieren sich die Studienziele vor allem auf Vermittlung eines an den **aktuellen Forschungsfragen orientierten Fachwissens** und auf die Erlangung **berufsrelevanter Schlüsselqualifikationen**. Dabei stehen die Stärkung **interdisziplinärer Kooperation** und die Weiterentwicklung von **Planungs-, Kommunikations- und Führungskompetenzen** im Vordergrund. Aufgrund der Tatsache, dass sämtliche Module nur in englischer Sprache angeboten werden und die Abschlussarbeit in englischer Sprache zu verfassen ist, verfügen die Absolventen über vertiefte englischsprachige Fachkenntnisse sowohl in Wort als auch in Schrift. Darüber hinaus ist Studiengang damit auch für internationale Bewerberinnen und Bewerber höchst attraktiv.

Der Studiengang gliedert sich in die Bereiche

- Pflichtbereich (A)
- Wahlbereich (B)
- Unterstützende Wahlfächer (C).

Im gesamten Studiengang werden verschiedene Module aus dem Studiengang „Informatik: Data Engineering and Analytics“ und ausgewählte Module aus anderen Fachrichtungen (wie etwa Elektro- und Informationstechnik) eingebunden (und umgekehrt), um dem interdisziplinären Charakter der Ausbildung Rechnung zu tragen.

Ein vertieftes Grundlagenwissen wird vor allem in den Pflichtmodulen im ersten Bereich A vermittelt. Insbesondere erhalten Absolventen eines mathematischen Bachelor-Studiengangs hier die für das weitere Studium zentralen Kenntnisse in der Informatik vermittelt, Absolventen mit Informatik-Bachelor erwerben dagegen die nötigen mathematischen Kompetenzen. Im Wahlbereich B erhalten die Studierenden einen breiten und fachübergreifenden Einblick in verschiedene grundlegende Methoden, sie erwerben so ein fundiertes Grundlagenwissen über alle Bereiche von „Big Data“ und schaffen gleichzeitig die Basis für die Beschäftigung mit aktuellen Forschungsfragen. Darauf aufbauend wählen die Studierenden im Wahlbereich B zudem vertiefende Veranstaltungen nach ihren individuellen Interessen, wobei ein klarer Fokus auf das Ausbildungsziel Data Science sichergestellt ist. Darüber hinaus werden im Bereich C die erworbenen Kompetenzen in gesellschaftlicher und politischer Hinsicht eingeordnet, ethische Aspekte von Wissenschaft und behandelt und mögliche gesellschaftliche Implikationen aufgezeigt. Weitere interdisziplinäre Kompetenzen werden durch die überfachlichen Grundlagen sichergestellt.

6.1 Pflichtbereich

Der Grundlagen-Bereich besteht aus den zwei Modulen „Foundations in Data Engineering“ und „Foundations in Data Analysis“, ersteres wird von der Fakultät für Informatik, zweites von der für Mathematik angeboten. Sie bilden die verpflichtend notwendigen, spezifischen methodischen Grundlagen (Darstellung von Daten, lineare und nichtlineare Einbettungen, Methoden der Dimensionsreduktion, Klassifikation, Grundlagen der nichtlinearen Optimierung, Datenbanktechniken und Datenstrukturen für große Datenmengen, effiziente Algorithmen zum Data Mining, verteilte Algorithmen) für tiefgehende Kompetenzen, die in den Studiengängen „Data Engineering and Analytics“ und „Mathematics in Data Science“ vermittelt werden. Diese beiden Module sind von allen Studierenden beider Studiengänge verpflichtend zu belegen.

- IN2326 Foundations in Data Engineering (8 CP)
- MA4800 Foundations in Data Analysis (8 CP)

In einem verpflichtenden Seminar (MA6015) verbessern die Studierenden ihre Fertigkeiten in der eigenständigen Literaturrecherche zu einem vorgegebenen Thema. Sie lernen, eine geeignete Auswahl aus dem vorhandenen Material zu treffen, das Thema geeignet zu strukturieren und es visuell aufzubereiten, um es einem wissenschaftlich vorgebildeten Publikum zu präsentieren. Durch den eigenen Vortrag und die Diskussion mit den Betreuern und den anderen Teilnehmern erwerben sie Kompetenzen im wissenschaftlichen Diskurs und in der Präsentationstechnik. Zugleich dient das Seminar dem intensiven Kennenlernen eines Themas und kann so als Einstieg in eine Masterarbeit im behandelten Fachgebiet dienen.

Da die Exploration und Auswertung komplexer Daten in vielen unterschiedlichen Anwendungskontexten benötigt wird, sollen die Studierenden exemplarisch einen solchen Anwendungsbereich kennen lernen. So ergänzen heutzutage datengetriebene Geschäftsmodelle traditionelle Wertschöpfungsmodelle. Ein Praktikum außerhalb der Universität ermöglicht den Studierenden einen Einblick in die praktischen Implikationen dieses Paradigmenwechsels und in die Vielzahl der Anwendungen, die durch „Big Data“ möglich gemacht werden. Es ist daher für alle Absolventen des Studiengangs „Mathematics in Data Science“ verpflichtend, sein Inhalt sollte mit dem Studienschwerpunkt in Zusammenhang stehen und seine Dauer 6 Wochen (Vollzeit) nicht unterschreiten.

Grundlagen-Pflichtbereich:

- Foundations in Data Engineering (8 CP)
- Foundations in Data Analysis (8 CP)
- Seminar (5 CP)
- Praktikum und Praktikumsseminar (10 CP)

6.2 Wahlbereich

Die Module des Wahlbereichs lassen sich in drei unterschiedliche Kategorien von Big Data einordnen:

- Data Analysis (B1)
- Data Analytics (B2)
- Data Engineering (B3)

Alle diese drei Kategorien sind wichtige Bestandteile einer gründlichen Ausbildung im Bereich Big Data, so dass die Studierenden zusammen mit den Pflichtmodulen in allen drei Kategorien vertieftes Grundlagenwissen und Kompetenzen erwerben. Die drei Kategorien werden ihrerseits wiederum in einen **grundlegenden** Teil und in einen **fortgeschrittenen** Teil aufgeteilt, wobei der vertiefende Teil von Data Analysis dem Studiengang *Mathematics in Data Science* vorbehalten ist – umgekehrt ist der fortgeschrittene Teil von Data Engineering dem Studiengang *Data Engineering and Analytics* vorbehalten.

Der Pflicht- und der grundlegende Teil des Wahlbereichs stellen sicher, dass die wesentlichen Qualifikationsziele des Studiengangs erreicht werden. Eine Vertiefung nach individuellen Interessen ist im **fortgeschrittenen Teil der beiden Bereiche** Data Analysis und Data Analytics möglich. Eine Vertiefung im Bereich Data Engineering ist nur im Studiengang *Data Engineering and Analytics* möglich. Im weiterführenden Bereich wird hauptsächlich an aktuellen Forschungsfragen orientiertes Fachwissen vermittelt.

Grundlagen-Wahlbereich (B1.1, B2.1, B3)

Im Grundlagen-Wahlbereich werden fortgeschrittene Kenntnisse aus den Bereichen Datenspeicherung, Datenverarbeitung, Repräsentation, Klassifikation und Optimierung erworben, die für die effiziente Verarbeitung von großen Datenmengen erforderlich sind. Hierdurch werden Kompetenzen vermittelt, die unsere Studierenden dazu befähigen, in der interdisziplinären Zusammenarbeit mit Anwendern, Technikern und Entwicklern wissenschaftlich fundierte und verantwortungsvolle Entscheidungen zu treffen, zukünftige Forschungs- und Anwendungsfelder zu erkennen und bereichsspezifische Teilkomponenten einer komplexen Datenexploration eigenständig zu entwickeln. Dazu

gehören etwa Methoden zur Modellierung und Analyse großer Netzwerke, zur Verarbeitung, Transformation und Analyse von Signalen, Verfahren des maschinellen Lernens wie Support Vector Machines, Klassifikationsverfahren, neuronale Netze oder Methoden des statistischen Lernens, Algorithmen zur Darstellung, Kompression, und effizienten Ablage und zur Suche in großen, inhomogenen Datenbeständen auch in Kombination mit verteilter Datenhaltung sowie Aspekte der Datensicherheit und Datenintegrität.

Der Grundlagen-Wahlbereich soll eine gewisse Breite der Ausbildung über alle Aspekte von Big Data sicherstellen, die Studierenden belegen mindestens ein Modul aus jedem der drei folgenden Schwerpunktbereiche: B1.1 Data Analysis, B2.1 Data Analytics sowie B.3 Data Engineering. Die Module sind so ausgewählt, dass sie von qualifizierten Studierenden mit Mathematik- sowie mit Informatik-Bachelor gleichermaßen besucht werden können, wenn die jeweiligen Grundlagen-Pflichtmodule zuvor belegt worden sind. Im Zweifel gibt der Fachstudienberater Empfehlungen, die sich nach den individuellen Vorkenntnissen richten und darauf ausgerichtet sind, eine gute Grundlage für das Studium im weiterführenden Bereich zu schaffen. Eine detaillierte Liste der möglichen Veranstaltungen enthält die FPSO in Anhang 9.1.

Grundlagen-Wahlbereich (B1.1, B2.1, B3):

- mindestens 15 Credits,
- mindestens ein Modul aus jedem der drei Bereiche “Data Engineering”, “Data Analytics”, “Data Analysis”.

Fortgeschrittener Wahlbereich (B1.2, B2.2)

Durch die vertiefenden Module in den fortgeschrittenen Wahlbereichen B1.2 und B2.2 erlangen die Studierenden spezielle fachliche Expertise, die sie im Vergleich zu den Absolventen des Masters Informatik und des Master Mathematik in den entsprechenden Teilgebieten des Data Engineering und der Data Analysis mit weit überdurchschnittlichen Kompetenzen ausstattet. Durch die weitgehend freie Wahl der einzelnen Module werden besondere Stärken und Interessen der Studierenden abgebildet, die Studierenden können sich also ihre spezifischen Kompetenz-Schwerpunkte selbst wählen und somit das Ausbildungsniveau durch ein individuelles Profil abrunden. Die Schwerpunktsetzung ermöglicht dabei jedem Studierenden, seine eigenen Interessen zu verfolgen. Andererseits sind verpflichtend Module aus den beiden Schwerpunktbereichen B1.2.1 Data Analysis und B1.2.2 Machine Learning zu belegen, so dass neben dem individuellen Schwerpunkt auch eine gewisse Tiefe der Ausbildung und eine deutliche Ausrichtung auf den allgemeinen Fokus „Data Science“ sichergestellt ist.

Weiterführende Module können entsprechend den Interessen der Studierenden aus dem Wahlkatalog des weiterführenden Bereichs gewählt werden. Hierbei ist von den Studierenden darauf zu achten, dass sie die notwendigen Vorkenntnisse, die in den Modulbeschreibungen festgehalten sind, mitbringen. Zur Orientierung sind im Modulkatalog in der FPSO die mathematischen Vorlesungen besonders gekennzeichnet, die von Studierenden mit einem Bachelor in Informatik über das Mindestmaß hinausgehende Vorkenntnisse verlangen. Diese Vorkenntnisse können typischerweise in den beiden Vorlesungen aus dem Pflichtbereich A erworben werden, so dass bei geeigneter Wahl der Module Studierbarkeit in jedem Fall sichergestellt ist. Die Studierenden sind angehalten, im Zweifel ein Beratungsgespräch mit der Fachstudienberatung zu führen.

Die praktische Umsetzung der erlernten Konzepte und Methoden wird im Rahmen von Praktika, Lab Courses und Fallstudien vertieft. Insbesondere plant die Fakultät dafür einen Kurs „Case Studies Data Science“ nach dem bewährten Konzept der „Case Studies Discrete/Nonlinear Optimization“ (die sich im Masterstudiengang „Mathematics in Operations Research“ sehr bewährt haben) neu zu schaffen, entsprechende Mittel zum Aufbau der nötigen Ressourcen versucht die Fakultät auch bei Firmen einzuwerben. Im Rahmen dieser Veranstaltungen steht insbesondere die praxisnahe, fächerübergreifende Zusammenarbeit in kleinen Teams im Vordergrund, darüber hinaus ist eine enge Zusammenarbeit und ein Austausch mit der ähnlich gelagerten „Data + Initiative“ der Duke University geplant. Weitere Master-Praktika aus der Informatik oder anwendungsorientierte Veranstaltungen aus der Mathematik sind auf Antrag wählbar. Ausgewählte können auch als Berufspraktikum angerechnet werden.

Fortgeschrittener Wahlbereich (B1.2, B2.2):

- mindestens 25 Credits,
- dabei je mindestens 1 Modul aus den Bereichen B1.2.1 und B1.2.2.

6.3 Unterstützende Wahlfächer

Absolventen des Masterstudiengangs „Mathematics in Data Science“ müssen verantwortungsvoll mit den Daten umgehen, die sie im Rahmen ihrer späteren Tätigkeit extensiv speichern, verarbeiten und analysieren werden. Eine Sensibilisierung im Hinblick auf ethische und gesellschaftliche Aspekte von Big Data ist daher von besonderer Wichtigkeit für den Studiengang. Die Studierenden beschäftigen sich daher im Rahmen ihres Studiums im Bereich C verpflichtend mit den gesellschaftlichen und politischen Implikationen von Big Data. Sie belegen dabei Module aus dem Bereich „Social and Political Aspects of Data Science“ mit einem Mindestumfang von 3 Credits.

Die Berufsbefähigung der Absolventinnen und Absolventen wird auch dadurch gestärkt, dass zusätzlich spezielle Veranstaltungen aus dem Katalog regelmäßig angebotener Module zu überfachlichen Grundlagen gewählt werden müssen. In diesem Bereich wählen die Studierenden je nach persönlichen Interessen und individuellen beruflichen Perspektiven aus einem breiten Angebot, beispielsweise um die Fremdsprachenkompetenz zu erweitern oder die juristischen Grundkenntnisse zu erwerben, um rechtsverbindliche Dokumente zu verstehen und mit aushandeln zu können oder um die gesetzlichen Grundlagen von Datenschutz, Urheberrecht oder Produkthaftung kennenzulernen.

Überfachliche Grundlagen:

- mindestens 3 Credits,
- Auswahl aus einem vom Prüfungsausschuss festgelegten und fortgeschriebenen Katalog.

Social and Political Aspects of Data Science:

- mindestens 3 Credits von speziell für den Studiengang angebotenen Modulen des MCTS.

6.4 Masterarbeit

Die abschließende Masterarbeit (30 Credits) wird als Nachweis des wissenschaftlichen Handwerks verstanden und soll die Befähigung der Studierenden zeigen, unter Anleitung wissenschaftlich zu

arbeiten. Diesbezüglich sollte die Masterarbeit ein integraler Bestandteil von laufenden Forschungsprojekten in einem der gewählten Kernbereiche sein. Die Studierenden weisen im Rahmen der Masterarbeit nach, dass sie in der Lage sind, sich unter Anleitung in ein abgegrenztes Gebiet der mathematischen Datenanalyse einzuarbeiten, selbständig relevante Literatur zu recherchieren und zusammenzufassen, mathematische Ideen zu formulieren und zu beweisen. Sie stellen unter Beweis, dass sie mit den im Rahmen des bisherigen Studiums erworbenen Fertigkeiten und Kompetenzen Probleme strukturieren, analysieren und einordnen können sowie Lösungsansätze für eine konkrete Problemstellung entwickeln und testen können. Die Ergebnisse ihrer Arbeit ordnen sie kritisch in die aktuelle Forschung und in den Rahmen der jeweiligen Anwendung ein. Während der Anfertigung ihrer Arbeit berichten die Studierenden im Rahmen eines Masterkolloquiums regelmäßig kurz über ihre Fortschritte und aktuelle Herausforderungen und diskutieren mit anderen Studierenden und mit ihren Betreuern das weitere Vorgehen. In diesem Rahmen erwerben und vertiefen sie Kompetenzen im wissenschaftlichen Diskurs und in der eigenständigen wissenschaftlichen Arbeit. Passend zum internationalen Profil des Studiengangs sollte die Masterarbeit in englischer Sprache verfasst werden.

Masterarbeit mit Masterkolloquium: 30 CP

6.5 Mobilität

Module aus dem Ausland, für die es kein äquivalentes TUM-Modul gibt, können im Umfang von bis zu 30 CP im Bereich *Advanced Topics in Data Science* eingebracht werden. Voraussetzung ist, dass es sich um Module auf Master-Niveau handelt, die den Fachbereichen Mathematik oder Informatik zugeordnet sind und die einen entsprechenden Beitrag zum Qualitätsprofil bringen. Die Entscheidung über eine Anerkennung trifft der Fachstudienberater in Abstimmung mit dem Prüfungsausschuss. Zur Erleichterung und besseren Planung eines Auslandssemesters führt der Fachstudienberater einen Katalog, aus dem ersichtlich ist, welche Veranstaltungen in der Vergangenheit bereits anerkannt wurden. Diese Möglichkeit und die übliche 1:1-Anerkennungen von Modulen, für die ein äquivalentes TUM-Modul existiert (in allen Abschnitten), ermöglichen es den Studierenden, ein Auslandssemester an einer anderen Universität zu verbringen und die dort erbrachten Leistungen in vollem Umfang für sein Studium an der TUM anrechnen zu lassen, so dass ein Auslandsaufenthalt ohne Überschreiten der Regelstudienzeit problemlos möglich ist. Ein entsprechendes Beispiel wird in Abschnitt 5.7 exemplarisch dargestellt.

6.6 Zusammenfassung der formalen Randbedingungen - Creditbilanz

- **Pflichtbereich:** 31 Credits: Beide Grundlagenmodule mit je 8 Credits sind Pflicht, ein Seminar (5 Credits) und ein Berufspraktikum (10 Credits) sind ebenfalls Pflicht.
- **Grundlegender Wahlbereich** (B1.1, B2.1, B3): Mindestens 15 Credits: mindestens ein Modul aus jeder der drei Kategorien „Data Engineering“, „Data Analytics“ und „Data Analysis“ muss gewählt werden.
- **Fortgeschrittener Wahlbereich** (B1.2, B2.2): Mindestens 25 Credits: dabei je mindestens 1 Modul aus den Bereichen B1.2.1 und B1.2.2.

Insgesamt müssen

- aus dem Pflichtbereich (A), **31 Credits**

- zusammen aus dem Wahlbereich (B) und dem Wahlkatalog des Masterstudiengangs Informatik mindestens **53 Credits**
- aus dem Bereich Unterstützende Wahlfächer (C) **6 Credits**
- für die Master's Thesis **30 Credits** erbracht werden.

6.7 Beispiele für konkrete Studienpläne

Im Folgenden ist exemplarisch ein Studien/Stundenplan mit konkreter Auswahl der Module aus den Grundlagen- und weiterführenden Bereichen angegeben. Dabei werden ca. 30 Credits pro Semester absolviert, es sind maximal 6 verschiedene Module je Semester zu belegen. Studienbeginn ist im Wintersemester.

1. Semester	2. Semester	3. Semester	4. Semester
<i>Foundations in Data Engineering</i>	<i>Foundations in Data Analysis</i>	<i>Geometry and Topology for Data Analysis</i>	Masterarbeit
<i>Klausur</i>	<i>Klausur</i>	<i>Klausur</i>	
<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	
<i>Fourier Analysis</i>	<i>Statistical Learning</i>	<i>Generalized Linear Models</i>	
<i>Klausur</i>	<i>Klausur</i>	<i>Klausur</i>	
<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	
<i>Functional Analysis</i>	<i>Computational Statistics</i>	<i>Hauptseminar</i>	
<i>Klausur</i>	<i>Klausur</i>	<i>mündlich</i>	
<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	
<i>Distributed Systems</i>	<i>Parallel Algorithms</i>	<i>Berufspraktikum</i>	
<i>Klausur</i>	<i>Klausur</i>	<i>mündlich</i>	
<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>	
<i>Überfachliche Grundlagen</i>	<i>Political Aspects of Data Science</i>		
<i>Mündlich</i>	<i>mündlich</i>		
<i>Eine Prüfungsleistung</i>	<i>Eine Prüfungsleistung</i>		

5 Prüfungsleistungen	5 Prüfungsleistungen	4 Prüfungsleistungen	1 Prüfungsleistung
30 Credits	30 Credits	30 Credits	30 Credits

Erstes Fachsemester (Wintersemester)

<i>Modul</i>	<i>Abschnitt FPSO</i>	<i>CP</i>
Foundations in Data Engineering (IN2326)	A	8
Fourier Analysis (MA4064)	B2.2	5
Distributed Systems (IN2259)	B3	5
Functional Analysis (MA3001)	B1.1	9
Überfachliche Grundlagen	C1	3
		Gesamt: 30

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
08:30-10:00					Übung zu Functional Analysis
10:00-12:00	Foundations in Data Engineering		Foundations in Data Engineering		
12:00-14:00					
14:00-16:00	Functional Analysis	Functional Analysis		Übung zu Foundations in Data Engineering	
16:00-18:00	Fourier Analysis	Übung zu Fourier Analysis	Distributed Systems	Überfachliche Grundlagen	
18:00-20:00					

Zweites Fachsemester (Sommersemester)

<i>Modul</i>	<i>Abschnitt FPSO</i>	<i>CP</i>
Foundations in Data Analysis (MA4800)	A	8
Parallel Algorithms (IN2011)	B2.2	8
Computational Statistics (MA3402)	B1.1	5
Statistical Learning (MA4802)	B1.2.2	6
Political Aspects of Data Science	C2	3
		Gesamt: 30

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
08:30-10:00			Computational Statistics		Parallel Algorithms
10:00-12:00	Foundations in Data Analysis	Statistical Learning	Übung zu Computational Statistics	Foundations in Data Analysis	
12:00-14:00					
14:00-16:00	Parallel Algorithms	Übung zu Parallel Algorithms		Übung zu Statistical Learning	Übung zu Foundations in Data Analysis
16:00-18:00	Political Aspects of Data Science				
18:00-20:00					

Drittes Fachsemester (Wintersemester)

<i>Modul</i>	<i>Abschnitt FPSO</i>	<i>CP</i>
Hauptseminar (MA6015)	A	5
Geometry and Topology for Data Analysis (MA4804)	B1.2.1	6
Berufspraktikum (MA8102)	A	10
Generalized Linear Models (MA3403)	B2.1	9
		Gesamt: 30

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
08:30-10:00					
10:00-12:00	Geometry and Topology for Data Analysis		Generalized Linear Models	Übung zu Geometry and Topology for Data Analysis	
12:00-14:00		Übung zu Generalized Linear Models			
14:00-16:00	Generalized Linear Models		Hauptseminar		
16:00-18:00					
18:00-20:00					

Viertes Fachsemester (Sommersemester)

<i>Modul</i>	<i>Abschnitt FPSO</i>	<i>CP</i>
Masterarbeit (MA6025)		30
		Gesamt: 30

Credit-Bilanz

Nr.	Bereich	Semester	Credits
1	Pflichtbereich Vorlesungen (A)	1 - 3	16
2	Grundlagen Wahlbereich (B1.1, B2.1, B3)	1 - 3	28
3	Fortgeschrittener Wahlbereich B1.2.1 und B1.2.2	2 und 3	12
3	Fortgeschrittener Wahlbereich B2.2	1 und 2	13
4	Hauptseminar (A)	3	5
5	Berufspraktikum (A)	3	10
6	Überfachliche Grundlagen	1	3
7	Political Aspects of Data Science	2	3
8	Master's Thesis	4	30
	Summe		120

6.8 Rechtliche, ökonomische, ethische oder gender-orientierte Aspekte

Die TU München bietet im Rahmen der Vermittlung überfachlicher Grundlagen über die Carl-von-Linde Akademie eine Reihe von Modulen an, die Studierenden des neuen Masterstudiengangs Einblicke in diverse rechtliche, ökonomische, ethische und gender-orientierte etc. Aspekte geben können. Ebenso bietet die Fakultät für Informatik überfachliche Module an, die sich für Studierende beider Studiengänge eignen, z.B. Existenzgründung oder Datenschutz. Module im Bereich *unterstützende Wahlfächer* können im Umfang von 6 Credits gewählt werden. Im Rahmen einer Kooperation mit dem Munich Center for Technology in Society (MCTS) erwerben die Studierenden Kompetenzen hinsichtlich der ethischen Beurteilung und der gesellschaftspolitischen Implikationen von Big Data und Anwendungen der Datenanalyse.

7 Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten

Der Studiengang „Mathematics in Data Science“ wird unter Mitwirkung der TUM-Fakultät Informatik partnerschaftlich angeboten. Die organisatorische und administrative Abwicklung erfolgt durch die Fakultät für Mathematik, wobei angestrebt wird, gemeinsame Organe mit dem Partnerstudiengang „Informatik – Data Engineering and Analytics“ zu schaffen. Der Prüfungsausschuss für den

Studiengang „Mathematics in Data Science“ setzt sich aus Mitgliedern der beiden genannten Fakultäten zusammen.

Sämtliche verpflichtenden Veranstaltungen (Pflichtmodule) werden von der Fakultät für Informatik oder der Fakultät für Mathematik angeboten. Daher sind diese beiden Fakultäten mit jeweils einem Mitglied im Prüfungsausschuss des Partnerstudienganges vertreten. Wahlmodule im Bereich der Anwendungskataloge werden darüber hinaus von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik angeboten.

Die Fachstudienberatung erfolgt über die Studiengangsverantwortlichen und die Fachstudienberater des Studiengangs. Diese wickeln darüber hinaus zusammen mit der Kommission für das Eignungsverfahren das Bewerbungsverfahren für den Masterstudiengang ab.

Von außen wird das Programm sichtbar werden durch ein gemeinsames Webportal. Die Zulassung wird geregelt durch eine vereinheitlichte Bewerbungsprozedur, bei der die Bewerber angeleitet werden, sich für den passenden Teilstudiengang zu entscheiden. Die Bewerbungen werden in enger Abstimmung evaluiert. Es wird eine gemeinsame Studienkommission gebildet, die sich regelmäßig trifft, die Studiengänge bewertet und anpasst; die Studienkommission ist dabei offen für Beteiligung weiterer Fakultäten. Das Programm kann so als Keimzelle und Prototyp für eine interfakultäre Big Data-Initiative an der TUM fungieren.

7.1 Administrative Zuständigkeiten

Aufgaben	Verantwortliche
Studiengangsverantwortlicher	Prof. Dr. Massimo Fornasier
Fachstudienberatung	PD Peter Massopust, Ph.D.
Schriftführer	Dr. Michael Ritter
Eignungsverfahren	PD Peter Massopust, Ph.D.
Prüfungsmanagement	Jana Graul