

Studiengangsdokumentation

Masterstudiengang

Microelectronics and Chip Design

Teil A

School of Computation, Information and Technology
Technische Universität München

Allgemeines:

- Organisatorische Zuordnung: School of Computation, Information and Technology
Professional Profile Electrical and Computer Engineering
- Bezeichnung: Microelectronics and Chip Design
- 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) 2025/2026
- Sprache: Englisch
- Hauptstandort: München
- Ergänzende Angaben: Kooperationen mit
Technical University of Denmark DTU
Tampere University (TAU)
KTH Royal Institute of Technology
Institut Mines-Télécom (IMT)
- Studiengebühren für internationale Studierende:
Gebührenklasse 2 (6.000 € pro Semester)
- Academic Program Director: Electrical and Computer Engineering
Prof. Dr. -Ing. Thomas Eibert
Studiengangsverantwortlicher: PD Dr.-Ing. habil. Michael Pehl
- Ansprechperson bei Rückfragen zu diesem Dokument:
Kamolrat Ruangkhanap
E-Mailadresse: k.ruangkhanap@tum.de
Telefonnummer: 089-289-28378
- Stand vom: 27.11.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Studiengangsziele	4
1.1	Zweck des Studiengangs	4
1.2	Strategische Bedeutung des Studiengangs	5
2	Qualifikationsprofil	8
3	Zielgruppen	12
3.1	Adressatenkreis	12
3.2	Vorkenntnisse	12
3.3	Zielzahlen	13
4	Bedarf	13
5	Wettbewerbsanalyse	15
5.1	Externe Wettbewerbsanalyse	15
5.2	Interne Wettbewerbsanalyse	17
6	Aufbau des Studiengangs	18
7	Organisatorische Anbindung und Zuständigkeiten	31
8	Entwicklungen im Studiengang	34

1 Studiengangsziele

1.1 Zweck des Studiengangs

Mikroelektronik und Chip Design ist ein Themengebiet, das sich mit der Entwicklung komplexer Systeme als integrierte Schaltungen befasst. Da die Vergangenheit gezeigt hat, dass Engpässe in internationalen Lieferketten zu einer erheblichen Belastung der Wirtschaft in Europa führen können, sind Deutschland und Europa bemüht, die Abhängigkeit von internationalen Märkten zu reduzieren. Dazu wollen Deutschland und ganz Europa die Fähigkeit zur Entwicklung und Fertigung von Chips in Europa stärken. Um dieses Ziel erreichen zu können ist insbesondere eine signifikante Anzahl hoch qualifizierter Arbeitskräfte nötig, welche die Fähigkeit haben aktuelle Aufgaben in dem Themengebiet zu lösen und innovative Lösungen zu erarbeiten. Innovative Lösungen sind dabei nötig, da die auf diesem Themengebiet entwickelten Chips in modernsten Technologien gefertigt werden und für praktisch alle Zukunftstechnologien, wie künstliche Intelligenz, Robotik oder Medizintechnik zum Einsatz kommen, wobei zahlreiche Spezifikationen, beispielsweise bezüglich Energie, Kosteneffizienz, Sicherheitsanforderungen erfüllt werden müssen. Dies ist nicht nur für etablierte Industrieunternehmen von großer Bedeutung. Auch kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) und Start-Ups profitieren in erheblichem Maße, da individuelle spezialisierte Lösungen in Hardware als Alleinstellungsmerkmal für diese Unternehmen dienen und ihnen so einen Wettbewerbsvorteil auf dem internationalen Markt sichern können.

Neben dem vorgenannten wirtschaftlichen Aspekt, ist der Studiengang auch aus Forschungssicht relevant. Die Lehrstühle und Professuren im Forschungsbereich des Designs Elektronischer Schaltungen und Systeme forschen an neuartigen Algorithmen und deren Umsetzung in analoger und digitaler Hardware, mit dem Ziel innovative Lösungen im Bereich der Mikroelektronik und des Chip Designs zu erarbeiten, mit denen die genannten Herausforderungen gelöst werden können. Hierbei müssen Entwicklungen nicht nur theoretisch fundiert sein, sondern zudem in Hardware erprobt werden, wozu in diesem Forschungsbereich Schaltungen auf Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) aber auch auf Application-Specific Integrated Circuits (ASICs) entwickelt werden und die Tragfähigkeit von Konzepten zu erproben.

Ziel des Masterstudiengangs *Microelectronics and Chip Design* ist die Ausbildung von hochqualifizierten, innovativ sowie verantwortungsbewusst denkenden Ingenieurinnen und Ingenieuren, die im Bereich Mikroelektronik neue spezialisierte, technologisch hochwertige Lösungen in Form von Chip Designs entwickeln und umsetzen können, wie sie beispielsweise im Bereich der künstlichen Intelligenz, der Informationssicherheit oder bei der Entwicklung energiesparender Systeme benötigt werden. Absolventinnen und Absolventen sollen in ihrer Rolle wichtige Analog- und Mixed-Signal-Komponenten, wie Sensoren oder Digital-zu-Analog bzw. Analog-zu-Digital Schnittstellen, realisieren oder komplexe digitale Systeme, wie Prozessoren inklusive Beschleunigern für spezialisierte Anwendungen, in Hardware implementieren können. Dabei werden sie Aufgaben entlang des gesamten Entwurfsprozesses von Schaltungen übernehmen. Dies beinhaltet insbesondere die Tätigkeiten als Systemdesignerinnen und -designer, Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure für Digital-Front-End- bzw. Digital-Backend-Design, Analog- und Mixed-Signal-Design, oder als Testingenieurinnen bzw. Testingenieur. Durch Spezialisierung in Bereichen wie Design für künstliche Intelligenz oder Informationssicherheit sind die Studierenden dabei nicht nur in der Lage generische Lösungen zu finden, sondern können auch maßgeschneiderte Lösungen für ihren Spezialbereich entwickeln, die über den Stand der Technik

hinausgehen. Dies befähigt die Absolventinnen und Absolventen auch, einen Beitrag in der universitären Forschung zu leisten.

Neben der technologischen Expertise zielt die Ausbildung (in Kooperation mit anderen namhaften europäischen Universitäten, siehe Näheres in Kapitel 1.2) auch auf die Befähigung zur interdisziplinären und internationalen Zusammenarbeit mit entsprechend starker Förderung der Kommunikations- und Teamfähigkeit. Die Fähigkeit zur interdisziplinären Zusammenarbeit bezieht sich hierbei einerseits auf die Befähigung in Teams mit Gruppenmitgliedern aus verschiedenen Fachbereichen zu arbeiten wie sie bereits im Studiengang im unten beschriebenen Forschungspraktikum erfolgt. Chip Design ist jedoch kein Selbstzweck. Daher bezieht sich andererseits die Interdisziplinarität auch auf die Fähigkeit der Absolventinnen und Absolventen an Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus anderen Wissenschaftsfeldern wie der Medizintechnik oder Robotik mitzuwirken, in denen die Fähigkeiten der Chipentwicklung benötigt werden. Hinsichtlich der Fähigkeit, gesellschaftliche Erwartungen und Folgen zu reflektieren (Technikfolgenabschätzung) wird im Studiengang die Thematik der Energieeffizienz der Chip Architektur und Sustainability in der Halbleiterprozessierung adressiert. Die Ausbildung zielt neben einem starken theoretischen Fundament, welches zur Entwicklung innovativer Lösungen notwendig ist, insbesondere auf die Entwicklung und praktische Umsetzung von Chip Designs, wozu ein sehr gutes Verständnis für mathematische Methoden und verwendete Algorithmen in eingesetzten Entwurfswerkzeugen, aber auch sehr gute Kommunikations- und Teamfähigkeiten notwendig sind. Um auf diese Rolle optimal vorzubereiten, steht im Zentrum des Studiengangs ein Praxisprojekt, in dem Studierende in Teams ihre eigenen Chips designen, und in dem auch Elemente aus dem Bereich der Teamorientierung und Unternehmensgründung unter Mitwirkung von TUM Venture Labs vermittelt werden.

Der Studiengang ist damit im hohen Maße anwendungsorientiert und beinhaltet zugleich signifikante forschungsorientierte Anteile. Er befähigt zur Ausübung von Tätigkeiten sowohl im Bereich der anwendungsorientierten Forschung als auch im Bereich der Entwicklung neuartiger Lösungen für Unternehmen und Industrie. Die Forschungsorientierung ist insbesondere über die Spezialisierung für einen bestimmten Anwendungsfall (z.B. künstliche Intelligenz oder Informationssicherheit) und durch die Berücksichtigung hochrelevanter Entwurfstechniken (z.B. Techniken für Low-Energy-Design zum Entwurf nachhaltiger Systeme) gegeben. Der Masterstudiengang qualifiziert nicht zuletzt für eine weiterführende wissenschaftliche Ausbildung mit dem Ziel der Promotion.

1.2 Strategische Bedeutung des Studiengangs

Der Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* der TUM School of Computation, Information and Technology (CIT) wird im *Professional Profile Electrical and Computer Engineering (PP ECE)* verortet. Als Teil ihrer Lehrstrategie konzentriert sich die CIT auf vier wissenschaftliche Bereiche: Mathematik, Computer Science, Computer Engineering und Electrical Engineering. Dabei werden verschiedene Bachelorstudiengänge angeboten, die eine enge Verknüpfung zwischen Mathematik, Informatik, Informationstechnik und Elektrotechnik herstellen. Diese Studiengänge legen den Grundstein für konsekutive und weiterbildende Masterstudiengänge. Eine Übersicht der Studiengänge der CIT findet sich unter: <https://www.cit.tum.de/cit/studium/studiengaenge>.

Laut Lehrstrategie der CIT versteht sich die School „als Impulsgeber für zahlreiche aktuelle Herausforderungen“¹. Demgemäß ist es konsequent, in dem brisanten Bereich der Chipentwicklung einen attraktiven, englischsprachigen Studiengang mit starker europäischer Kooperation anzubieten, der als Magnet für hochqualifizierte nationale und internationale Studierende dienen kann. Das Themenfeld des Schaltungsentwurfs wurde im *PP ECE* bislang nur teilweise abgedeckt, da in den bestehenden Studiengängen (Masterstudiengang *Elektrotechnik und Informationstechnik* und Masterstudiengang *Communications and Electronics Engineering*) eine ganzheitliche Betrachtung des Chipdesigns nicht vorgesehen ist. So behandelt der englischsprachige Master *Communications and Electronics Engineering* zwar den Bereich der Elektronik, allerdings ist dieser auf nachrichtentechnische Aspekte ausgelegt. Der neue Masterstudiengang für *Microelectronics and Chip Design* soll diese Lücke schließen, in dem er in geeigneter Weise die dringend benötigten Fachkräfte für den deutschen und europäischen Chipmarkt bereitstellt und den Weg für innovative elektronische Lösungen für verschiedene Querschnittsthemen ebnet.

Die internationale Ausrichtung des Studiengangs liefert einen entscheidenden Beitrag zur Internationalisierung des Lehrangebots an der School und der TUM, wie es beispielsweise im Leitbild der TUM Lehrverfassung festgeschrieben ist. Er spricht gezielt auch englischsprachige internationale Studierende an, um diese für den deutschen und europäischen Arbeitsmarkt im Bereich Chip Design zu gewinnen, in dem die EU signifikante Kapazitäten aufbauen möchte, aber bereits heute ein starker Arbeitskräftemangel herrscht. In diesem Zusammenhang wird der Aufbau des Studiengangs auch von der Europäischen Union über das Projekt Edu4Chip² gefördert. In diesem Projekt kooperiert die TUM mit den vier europäischen Universitäten Technical University of Denmark (DTU), KTH Royal Institute of Technology (KTH), Tampere University (TAU) und Mines Saint-Étienne (MSE) als Teil des Institut Mines-Télécom, und drei mittelständischen Unternehmen. Das Konsortium entwickelt mit Unterstützung von Industrieunternehmen wie Ericson, Infineon, Nokia, STMicroelectronics oder Texas Instruments aufeinander abgestimmte Masterprogramme – an der TUM in Form eines vollwertigen Programms, an den Partneruniversitäten in Form von Schwerpunkten in existierenden Programmen – um Studierende im Bereich Chip Design auszubilden. Dabei wird insbesondere das unten erwähnte Forschungspraktikum, das für seine Realisierung erhebliche Vorarbeiten benötigt, gemeinsam von den Partnern entwickelt. Außerdem ist es Ziel des Projekts eine dauerhafte Kooperation in der Lehre in diesem Bereich zu etablieren und dadurch die internationale Zusammenarbeit zwischen den Partnern nachhaltig zu fördern.

Die TUM hat sich der Verknüpfung von exzellenter Forschung und Lehre verpflichtet³. Zudem definiert sie sich als unternehmerische Universität und ist in ihrem Grundverständnis Dienerin der Gesellschaft.⁴ Die TUM legt damit nicht nur großen Wert auf Wissenschaftlichkeit als Basis der Lehre und Kompetenzorientierung, sie begreift ihr Wirken auch im Kontext der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Verantwortung. Der neue Studiengang *Microelectronics and Chip Design*, der sich auf eine kompetenzorientierte Ausbildung in einem in Deutschland und Europa stark nachgefragten Bereich fokussiert, der für die technologische Entwicklung der Gesellschaft essentiell ist, spiegelt diese Werte klar wieder. Dabei wird durch eine wissenschaftliche, stets forschungsnahe

¹ <https://www.cit.tum.de/cit/school/leitbild>

² <https://digital-skills-jobs.europa.eu/en/edu4chip-joint-education-advanced-chip-design-europe>

³ https://www.tum.de/fileadmin/user_upload_87/ga45hiy/TUM_Lehrverfassung_2018.pdf

⁴ <https://www.tum.de/ueber-die-tum/ziele-und-werte/leitbild>

Ausrichtung der Lehre sowie durch die Befähigung von Absolventinnen und Absolventen zur praxisbezogenen Anwendung theoretischer Konzepte in Teams sowohl der wissenschaftliche also auch der „unternehmerische“ Aspekt im Leitbild der TUM berücksichtigt.

Zudem will die TUM ihre Studierenden auch darin fördern, neben einer fachlichen Souveränität auch soziale Kompetenzen, Teamfähigkeit, unternehmerischen Mut sowie ein ausgeprägtes Verantwortungsbewusstsein aufzubauen. Auch diese Aspekte werden von dem Studiengang adressiert. Hierzu dienen primär zwei Bausteine des Studienplans: Einerseits arbeiten die Studierenden in Teams an einem gemeinsamen Projekt und werden im Rahmen des Projekts auch bezüglich Teamarbeit, Projektarbeit und Unternehmertum geschult. Zusätzlich besuchen Studierende des Studiengangs von der TUM School of Social Science and Technology angebotene Kurse aus dem Bereich der Sozialwissenschaften.

Die TUM will mit ihrer *TUM Sustainable Futures Strategy 2030*⁵ im Bereich Lehre unter anderem Studierende dabei unterstützen, ein eigenes Verständnis für Nachhaltigkeit zu entwickeln und sie befähigen, aktive und gestaltend in in diesem Bereich tätig zu werden. Der Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* trägt zu diesem Ziel bei, indem er in geeigneten Lehrveranstaltungen insbesondere das Thema Energieeffiziente Schaltungen (z.B. Module Innovative Computing for AI oder Analog and Mixed-Signal Circuit Design) aufgreift. Dass dieses Thema für Nachhaltigkeit besonders wichtig ist, lässt sich zum Beispiel daran erkennen, dass laut einer Auswertung der *Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen*⁶ im Jahr 2022 rund 17% des Strombedarfs von privaten Haushalten und 35% des Strombedarfs im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen von Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik verursacht wurden, einem Bereich indem die Anzahl der Geräte kontinuierlich steigt und für den die Absolventinnen und Absolventen des Studiengangs perspektivisch Chips entwickeln werden.

⁵ <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1690440/1690440.pdf>

⁶ https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/01/AGEB_22p2_rev-1.pdf

2 Qualifikationsprofil

Das nachfolgende Qualifikationsprofil entspricht inhaltlich den Vorgaben des Qualifikationsrahmens für Deutsche Hochschulabschlüsse (Hochschulqualifikationsrahmen - HQR) und den darin enthaltenen Anforderungen (i) Wissen und Verstehen, (ii) Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen, (iii) Kommunikation und Kooperation und (iv) Wissenschaftliches Selbstverständnis/Professionalität. Die formalen Aspekte gemäß HQR (Zugangsvoraussetzungen, Dauer, Abschlussmöglichkeiten) sind in den Kapiteln 3 und 6 sowie in der entsprechenden Fachprüfungs- und Studienordnung ausgeführt.

(I) Wissen und Verstehen

Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiengangs *Microelectronics and Chip Design* können selbstständig komplexe Systeme, wie sie vielfach zur Lösung von zukunftsorientierten technologischen Lösungen benötigt werden, in Form von integrierten Schaltungen und der dazugehörigen hardwarenahen Software entwickeln. Sie sind in der Lage bestehende und neu entwickelte Systeme zu analysieren, zu testen und weiterzuentwickeln. Insbesondere verstehen die Absolventinnen und Absolventen alle Arbeitsschritte, die bei der Entwicklung eines komplexen, mikroelektronischen Chips, ausgehend von einer abstrakten Beschreibung bis hin zu einer physikalisch existierenden Hardware durchzuführen sind so tief, dass sie einerseits eigenständig in der Lage sind, dieses Wissen auf neue, bislang unbekannte Fragestellungen anzuwenden, und andererseits auch zur Verbesserung der Werkzeuge im Entwurfsprozess beizutragen.

Aufbauend auf den Grundlagen des Bachelorstudiengangs sind die Absolventinnen und Absolventen in der Lage, die physikalischen Prinzipien (z.B. die Zusammenhänge zwischen Technologie, Schaltungsdesign und Zeitverhalten oder Leistungsaufnahme) zu verstehen, die beim Chip Design eine Rolle spielen. Dies beinhaltet insbesondere ein umfängliches Verständnis elektronischer und festkörpertheoretischer Effekte, die einerseits beim fertigen Chip, andererseits aber auch bei modernen Fertigungstechnologien von Schaltungen eine Rolle spielen. Die Absolventinnen und Absolventen sind dabei in der Lage komplexe Systeme für die Schaltungsentwicklung algorithmisch oder mathematisch zu modellieren und zu partitionieren und die Modellierung in eine für die Hardwareentwicklung geeignete Form zu überführen. Diese Modelle können sie auf Basis ihres Wissens in effiziente Implementierungen überführen. Dabei verstehen sie die mathematischen Verfahren (z.B. graphentheoretische, statistische oder numerische Ansätze und deren Verknüpfungen), die in den verwendeten Unterstützungswerkzeugen beispielsweise zur Optimierung von Schaltungen, oder bei der Platzierung und Verdrahtung verwendet werden, und können diese gezielt einsetzen und gegebenenfalls verbessern oder auf neue Problemstellungen anpassen, um sehr gute Ergebnisse zu erzielen. Je nach Wahl des im Unterpunkt „Wissensvertiefung“ beschriebenen Schwerpunkts haben Absolventinnen und Absolventen darüber hinaus vertiefte Kompetenzen im Bereich des analogen bzw. digitalen Schaltungsentwurfs.

Wissensvertiefung

Alle Studierenden des Studiengangs *Microelectronics and Chip Design* verfügen über grundlegendes Wissen im analogen und digitalen Chip Design. Entsprechend der beruflichen Tätigkeiten, die meist eine überwiegende fachliche Expertise entweder im analogen oder im digitalen Chip Design voraussetzen, sowie aufgrund der Vielzahl von Kenntnissen, die in den jeweiligen Bereichen erforderlich sind, fokussieren sie sich durch die Wahl eines Schwerpunkts aber auf einen Bereich des Schaltungsentwurfs. Entsprechend verfügen die Studierenden am Ende ihres Studiums

über umfassende Kompetenzen entweder im analogen Schaltungsentwurf oder im digitalen Schaltungsentwurf. Je nach individueller Vorbildung ist grundsätzlich auch eine Wahl aus beiden Bereichen und damit ein breiteres Profil mit Kompetenzen aus dem analogen und digitalen Chip Design (ohne Schwerpunktsetzung) möglich.

Schwerpunkt analoger Schaltungsentwurf:

Absolventinnen und Absolventen, die sich auf den Aspekt des analogen Schaltungsentwurf fokussieren, sind in der Lage komplexe Anlogschaltungen zu entwickeln, wie sie beispielsweise bei Mensch-Maschine-Schnittstellen, bei der Erzeugung von bestimmten Signalen – wie etwa dem Taktsignal – auf dem Chip oder in der Sensorik zum Einsatz kommen. Auch die Entwicklung von Schaltungen mit teils analoger, teils digitaler Charakteristik (Mixed-Signal-Schaltungen) wird von Studierenden in diesem Bereich nach deren Ausbildung beherrscht. Um solche Schaltungen entwickeln zu können, verstehen Studierende die komplexen Zusammenhänge die in modernen Fertigungstechnologien genutzt werden, um Transistoren und andere Bauteile zu realisieren und können auf Basis dieses Wissens das Verhalten komplexer Schaltungen einschätzen. Die Absolventinnen und Absolventen sind in der Lage Analog- und Mixed-Signal-Schaltungen auf Transistorebene zu entwickeln und in einen komplexen Chip mit Digitalen und Analog-/Mixed-Signal-Komponenten zu integrieren. Sie können außerdem die Qualität der von ihnen oder von Dritten entwickelten Designs einschätzen und sind in der Lage, ein Design sowohl im Vorfeld simulativ als auch nach Fertigung des Chips mit Hilfe von Messungen zu testen und wichtige Eigenschaften zu bewerten. Die Absolventinnen und Absolventen sind auch in der Lage, Low-Energy-Konzepte in innovativen Designs umzusetzen, was gerade beim Entwurf von Analog-/Mixed-Signal-Schaltungen eine signifikante Rolle bezüglich Nachhaltigkeit spielt.

Schwerpunkt digitaler Schaltungsentwurf:

Absolventinnen und Absolventen, die sich auf diesen Aspekt des Schaltungsentwurf fokussieren, sind in der Lage hoch komplexe Systeme algorithmisch so zu modellieren, dass sie effizient in Hardware und hardwarenaher Software realisiert werden können. Als Basis dafür verstehen die Studierenden die zugrundeliegenden elektronischen Effekte, die das Schaltverhalten von Logikgattern in Digitalschaltungen beeinflussen und können basierend darauf auch für neue Technologien optimale Designstrategien entwickeln und aus von Mixed-Signal-Designern zur Verfügung gestellten Logikgatterimplementierungen eine für ein konkretes Problem optimale Auswahl treffen. Die Absolventinnen und Absolventen sind außerdem in der Lage komplexe Algorithmen effizient hardwarenah zu modellieren und neuartige algorithmische Lösungen für Zukunftsfragestellungen zu entwickeln. Sie verstehen den gesamten Entwurfsablauf im Digitalbereich von einer Beschreibung auf Systemebene bis zur Umsetzung in ein physikalisches Layout. Sie sind in der Lage Teststrategien in Digitalschaltungen zu integrieren und diese beispielsweise zur Qualitätssicherung und zur Fehleranalyse zu nutzen. Die erworbene Kenntnis von Entwurfsmethoden erlaubt es ihnen gezielt Optimierungsstrategien einzusetzen und innovative, qualitativ hochwertige Ansätze auch praktisch umzusetzen.

Wissensverbreiterung und Wissensverständnis

Neben der Wissensvertiefung, die über die Schwerpunktsetzung stattfindet, verfügen die Absolventinnen und Absolventen auch über schaltungsentwurfsbezogene Kenntnisse in Anwendungsdomänen, wie dem Schaltungsdesign für Beschleuniger von künstlicher Intelligenz, dem Schaltungsdesign im Kontext der Informationssicherheit oder der Entwicklung neuartiger Entwurfswerkzeuge. Die Absolventinnen und Absolventen verstehen daher typische

Entwurfsstrategien für bestimmte Bereiche und können diese in neuem Kontext anwenden. Damit können Studierende einerseits bekannte Methoden für neue Problem in einer Domäne erweitern. Andererseits erlaubt ihnen das Wissen aus einem Anwendungsbereich einen Transfer von Domänenwissen in einen neuen Kontext und damit die Entwicklung neuer und besserer Lösungsansätze über Domänengrenzen hinaus.

(II) Einsatz, Anwendung und Erzeugung von Wissen

Neben den unverzichtbaren Fachkenntnissen in der Domäne verfügen die Absolventinnen und Absolventen auch quer über die Grenzen von Schulen, Abteilungen und Disziplinen hinweg über kollaborative Kompetenzen, Perspektiven und agile Arbeitsmethoden für die Neue Arbeitswelt (21st Century Skills). Im Rahmen der Ausbildung wird dabei auch ein wesentlicher Fokus auf das Thema Nachhaltigkeit gelegt, was im Kontext des Chipdesigns primär durch die Umsetzung von Low-Energy-Konzepten erfolgen kann.

Absolventinnen und Absolventen sind in der Lage auf Basis ihres Fach- und Methodenwissens komplexe Problem- und Fragestellungen in ihrem Schwerpunktbereich erfolgreich zu bearbeiten. Dadurch sind sie in der Lage durch eine tiefe Kenntnis der grundlegenden Methoden des Schaltungsdesigns und der physikalischen und mathematischen Zusammenhänge, die sie insbesondere in den Kernmodulen des Studiengangs erlernen, Domänenwissen in einen Anwendungsbereich (z.B. Robotik oder Medizintechnik) zu übertragen und so neue Lösungen zu erarbeiten. Exemplarisch wird diese Fähigkeit anhand der Übertragung theoretischer Konzepte des Schaltungsdesigns auf die konkreten Aufgabestellungen aus Bereichen wie Schaltungsdesign für Security oder KI in den Forschungspraktika erlernt und eingeübt. Außerdem erlaubt den Studierenden das Wissen um den Stand der Technik in einem Anwendungsbereich in Kombination mit den erlernten Methoden aus dem im Studiengang enthaltenen wissenschaftlichen Seminar, diesen Stand der Technik kritisch zu hinterfragen und so Schwachstellen zu identifizieren, was wiederum zu neuen Forschungsfragen und innovativen Lösungsansätzen führen kann. Dabei sind die Absolventinnen und Absolventen in der Lage die Auswirkungen ihrer Entscheidungen einzuschätzen. Beispielsweise können Designerinnen und Designer aus dem Schwerpunkt des Analog-/Mixed-Signal-Designs Energy-Saving-Strategien auf neue Schaltungen übertragen um eine höhere Nachhaltigkeit zu erreichen und können damit einhergehende Ersparnisse und Kosten abschätzen. Absolventinnen und Absolventen können auch den Forschungsbedarf erkennen, der sich beispielsweise bei der Einführung neuer Technologien ergibt und auf Basis der bekannten Methodik die Schritte für die Durchführung der Forschung planen und wissenschaftliche Experimente durchführen sowie sie erläutern. Dabei sind sie auch in der Lage Forschungsergebnisse kritisch zu hinterfragen.

In der Berufspraxis können Studierende die erlernten Methoden einsetzen, um neue innovative Ideen zu erarbeiten und umzusetzen. Insbesondere die im Fokus des Masters in Microelectronics and Chip Design stehenden praktischen Aspekte des Chip Designs erlauben es den Studierenden dabei auch komplexe Vorhaben eigenständig umzusetzen. Die erworbene Kompetenz in der projektorientierten Zusammenarbeit mit Dritten in Zusammenhang mit einem fundierten methodischen Wissen erlauben es den Studierenden ihre Kompetenz auch in interdisziplinären Teams einzubringen und auf diese Weise Innovationen auch über bekannte Anwendungsdomänen hinaus zu entwickeln. Dabei sind sie in der Lage, Innovationen im Bereich Chip Design zu erkennen, ökologische, ökonomische, und gesellschaftliche Potentiale und Probleme kritisch abzuschätzen, und Innovationen verantwortungsbewusst und selbstständig voranzutreiben.

(III) Kommunikation und Kooperation

Studierende im Masterstudium Microelectronics and Chip Design verfügen über hervorragende Teamfähigkeit. Sie sind in der Lage eigenständig Projekte zu planen und durchzuführen. Sie kennen die Struktur und Dynamik von Gruppensituationen und können Aufgaben innerhalb einer Arbeitsgruppe kompetenzgerecht aufteilen. Sie sind in der Lage Gruppenkonflikte frühzeitig zu erkennen und Lösungsstrategien zu erarbeiten. Durch den internationalen Charakter des Studiengangs sowie die Zusammenarbeit mit anderen Universitäten (bspw. im EU Projekt Edu4Chip) sind Absolventinnen und Absolventen in der Lage auch in anderen Kulturkreisen sicher zu agieren und mit internationalen Kollegen konstruktiv zusammenzuarbeiten.

Die Absolventinnen und Absolventen haben außerdem Kenntnisse aus dem überfachlichen Bereich, die es ihnen erlauben über die technischen Aspekte hinaus auch bezüglich ökologischer und ökonomischer Belange fundiert und situationsadäquat zu agieren. Ihre Ausbildung erlaubt ihnen auch eine sichere wissenschaftliche, aber auch nichtwissenschaftliche, auf eine Zielgruppe zugeschnittene Kommunikation in Wort und Schrift.

(IV) Wissenschaftliches Selbstverständnis und Professionalität

Absolventinnen und Absolventen des Studiengangs Microelectronic and Chip Design verfügen über ausgeprägtes fachliches Wissen, das es ihnen ermöglicht wissenschaftlich und technisch fundierte Entscheidungen zu treffen, ein hohes Maß an praktischen Fähigkeiten, das ihnen erlaubt die Durchführbarkeit von Vorhaben realistisch und auf ihre individuellen Fähigkeiten, bzw. auf die Fähigkeiten ihrer Arbeitsgruppe bezogen, einzuschätzen. Außerdem verfügen sie über fundierte Erfahrungen im gruppenorientierten und projektbezogenen Arbeiten im interkulturellen Kontext. All diese Kenntnisse und Fähigkeiten prägen ihr wissenschaftliches und professionelles Selbstverständnis. Absolventinnen und Absolventen gehen auf Basis der erlernten Fähigkeiten bei neuen wissenschaftlichen und technischen Aufgaben methodisch vor und behalten dabei die Gesamtsituation sowie die Konsequenzen ihres Handelns verantwortungsbewusst im Blick. Sie hinterfragen kritisch und selbstreflektiert ihr Handeln und sind in der Lage auch in Konfliktsituationen umsichtig und ökologisch, ökonomisch und gesellschaftlich verantwortungsbewusst zu agieren. Insbesondere sind sie in der Lage ethische und ökologische Chancen und Risiken der von ihnen mitentwickelten Technologien nachvollziehbar zu bewerten und entsprechende gesellschaftlich verantwortliche Entscheidungen beispielsweise bezüglich der Weiterverfolgung von Ideen oder des Einsatzes von Technologien zu treffen. Mit diesen Kompetenzen sind die Absolventinnen und Absolventen in der Lage sowohl wissenschaftliche Tätigkeiten an Hochschulen und Forschungseinrichtungen, als auch Aufgaben in der Industrie zu übernehmen. Die erworbenen Kenntnisse und die Fähigkeit erlauben es ihnen in diesem Umfeld innovativ und verantwortungsbewusst zu handeln.

3 Zielgruppen

3.1 Adressatenkreis

Der Masterstudiengang Microelectronics and Chip Design ermöglicht die Zulassung von Absolventinnen und Absolventen mit Bachelorabschlüssen, die den Abschlüssen der TUM in den Bereichen Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik und Physik gleichzusetzen sind. Die Voraussetzungen können dabei auch von Bachelorabsolventinnen und –absolventen anderer nationaler und internationaler Universitäten, Hochschulen, Dualen Hochschulen und diesen gleichgestellten Einrichtungen im internationalen Kontext erfüllt sein.

Der Studiengang richtet sich dabei an Bewerberinnen und Bewerber, die Interesse haben einen Beitrag zu innovativen Zukunftslösungen durch die Entwicklung von analog/mixed-signal oder digitalen Schaltungen in modernen Technologien zu leisten. Der Studiengang bietet Bewerberinnen und Bewerbern dabei die Möglichkeit im Rahmen des Studiums an einem Chipentwurf mitzuarbeiten und ein eigenes Design zu entwerfen. Hierbei haben sie die Möglichkeit ein Design aus einer von mehreren Zukunftstechnologien zu entwickeln und beispielsweise an der Entwicklung von Beschleunigern für künstliche Intelligenz oder an der Entwicklung sicherer Schaltungsdesigns mitzuarbeiten.

Da alle Veranstaltungen des Studiengangs in englischer Sprache abgehalten werden und der Studiengang insbesondere auch den Arbeitskräftebedarf international agierender Unternehmen im Bereich des Chipdesigns im Blick hat, richtet er sich nicht nur an Bewerberinnen und Bewerber aus dem Umfeld der TUM oder von anderen deutschsprachigen Hochschulen und Universitäten, sondern in hohem Maße auch an Bewerberinnen und Bewerber aus dem internationalen Ausland, wobei im Rahmen der EU-Förderung für den Aufbau des Studiengangs insbesondere auch die Ausbildung Studierender aus europäischen Ländern gestärkt werden soll.

3.2 Vorkenntnisse

Um das angestrebte Qualifikationsziel im Studiengang Microelectronics and Chip Design zu erreichen, werden bei Studienanfängerinnen und Studienanfängern Eingangsqualifikationen vorausgesetzt. Diese sind im Eignungsverfahren (EV) auf Basis der im Bachelor an der TUM erworbenen Kompetenzen, festgelegt. Sie umfassen einerseits fundierte mathematische Kompetenzen wie sie in allen technischen und naturwissenschaftlichen Studiengängen der TUM vermittelt werden. Beispiele sind umfangreiche Vorkenntnisse in den Bereichen Numerik und Statistik. Andererseits wird vorausgesetzt, dass Bewerberinnen und Bewerber gute Kenntnisse über wesentliche elektrotechnische Zusammenhänge besitzen. Als Beispiele für diese Vorkenntnisse können einerseits erlernte Inhalte aus dem Bereich der Digitaltechnik und der Rechnerarchitekturen dienen, andererseits kann hier auch ein gutes Verständnis im Bereich der Elektrodynamik als Grundlage für das Studium dienen. Neben den genannten technisch/naturwissenschaftlichen und mathematischen Fähigkeiten, die für das Verständnis der im Masterprogramm angebotenen Module notwendig sind, sollen Bewerberinnen und Bewerber auch über grundlegende Programmierfähigkeiten verfügen um einen niederschweligen Einstieg in die im Studium insbesondere im praktischen Teil bei der Toolbedienung benötigten Skriptsprachen und Beschreibungssprachen zu erlauben. Die beschriebenen Voraussetzungen werden beispielsweise

an der TUM von der Mehrheit der Studierenden in den Bachelorstudiengängen Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik mit Nebenfach Elektrotechnik und Physik erfüllt.

Da der Studiengang auch für internationale Studierende und durchgängig in englischer Sprache angeboten wird, müssen Bewerberinnen und Bewerber im Studiengang Microelectronics and Chip Design auch über gute englische Sprachfähigkeiten verfügen. Diese können durch ein entsprechendes Zertifikat oder durch die Durchführung der Bachelorarbeit in englischer Sprache nachgewiesen werden.

3.3 Zielzahlen

Der Studiengang *Master of Microelectronics and Chip Design* spricht nicht nur deutschsprachige Studierende, sondern auch internationale Bewerberinnen und Bewerber an. Damit ist langfristig mit ähnlichen Studierendenzahlen wie beispielsweise im internationalen Studiengang *Master of Communications and Electronics Engineering* zu rechnen. Auf dieser Basis kann von mehreren hundert Bewerberinnen und Bewerbern und einer Größe pro Kohorte von 100 bis 150 Studierenden ausgegangen werden. Nach der Neueinrichtung wird diese Zielzahl voraussichtlich noch nicht erreicht. Die erwartete Größe der Kohorte wird für diesen Durchgang auf 30 bis 50 geschätzt.

Da im Rahmen des Masterstudiengangs ein Chip gefertigt werden soll, was mit intensiver Betreuung und Kosten verbunden ist, wird für die Anzahl der Studierenden und mit einem Gesamtblick auf die aktuell verfügbaren räumlichen und personellen Ressourcen die geplante Größe von 100 bis 150 Studierenden pro Kohorte angestrebt.

4 Bedarf

Der Studiengang *Master of Microelectronics and Chip Design* bildet mit seinem Qualifikationsprofil für das Arbeitsgebiet des Entwurfs und der Entwicklung integrierter Schaltungen in verschiedenen Anwendungsdomänen aus. Fertig ausgebildete Ingenieurinnen und Ingenieure in diesem Bereich arbeiten schwerpunktmäßig in industriellen Unternehmen wie Intel, Infineon, NXB, NVIDIA oder TI aber auch in kleinen und mittelständischen Unternehmen und Designhäusern.

Die Ausbildung im Bereich der Mikroelektronik und des Chip Designs ist dabei eine entscheidende Säule des *European Chips Act*. Hier ist eines der formulierten Ziele die „Beseitigung des Fachkräftemangels, Anziehen neuer Talente und Förderung der Heranbildung qualifizierter Arbeitskräfte“⁷. Der Ausbildungsbedarf wird dabei von Seiten der EU als signifikant eingestuft. EU-Kommissar Thierry Breton sagte zum Bedarf an Arbeitskräften in der Halbleiterindustrie, was als wesentlichen Bestandteil auch Chip Designer beinhaltet, in einer Rede anlässlich des Chips for Europe Events im November 2023 in Brüssel: „Die derzeitigen Investitionen in Europa werden zu 25.000 neuen direkten Arbeitsplätzen führen. Es wird erwartet, dass bis 2030 350.000 freie Stellen in der Halbleiterindustrie nicht besetzt werden, da Europa hier – wie in anderen Bereichen – mit

⁷ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_de#handlungsbedarf-auf-eu-ebene

Funktion	Ausgewählte, exemplarische Tätig im Bereich Chip Design
Systementwicklerinnen- oder -entwickler	Modellierung; Beschreibung und Entwicklung auf hoher Abstraktionsebene; HW/SW Co-Design
Schaltungsentwicklerinnen oder -entwickler	Entwicklung von Schaltungen und IP-Blöcken auf RTL- und Transistor-Level
Digital / Computer Ingenieurinnen oder Ingenieure	Entwicklung von Computerarchitekturen, Teilsystemen IP-Blöcken, Prozessoren und Interconnects
Backend Ingenieurinnen oder Ingenieure	ASIC- Backend Design; Entwicklung des Layouts; Berücksichtigung von Power, Performance, Area auf Gatelevel; Erstellung von IP mit entsprechenden Generatoren
Verifikations- und Testingenieurinnen oder -ingenieure	Test von Strukturen und Schaltungen bezüglich Zielerreichung unter Umgebungseinflüssen und Alterung; Datenanalyse; Erstellung von Tests mit hoher Testabdeckung; Formale Verifikation.
Software Ingenieurinnen oder Ingenieure	Entwicklung von HW/SW Schnittstellen; Entwicklung von hardwarenaher Software und Software für Echtzeit- und Safety-Anwendungen
Design-Flow- und Tool-Ingenieurinnen oder Ingenieure	Entwicklung und Wartung der EDA Toolchain; Sicherung des Zusammenspiels aller Teile der Toolchain; Bereitstellung von ASIC Technologiebibliotheken.
Elektronik Ingenieurinnen oder Ingenieure	Bereitstellung und Wartung von Laborausstattung; Entwicklung von PCB-Designs mit CAD Methoden; Bonding, Inbetriebnahme und physikalischer Test von Chips.

Tabelle 1: Ausgewählte Tätigkeitsbereiche eines Chip Designers

einem erheblichen Mangel an Fachkräften zu kämpfen hat.“⁸ Vor diesem Hintergrund fördert die EU allgemein die Ausbildung in der Digitalisierung über das *Digital Europe Programme (DIGITAL)* und konkret die Einrichtung des Studiengangs an der Technischen Universität München über das Projekt *Joint Education for Advanced Chip Design in Europe (Edu4Chip)*.

Die Notwendigkeit der Verbesserung der universitären Ausbildung in diesem Bereich in Deutschland wird bereits dadurch belegt, dass alleine im Projekt *Edu4Chip* neben acht großen vier mittelständische Unternehmen die Projektdurchführung mit einem entsprechenden Schreiben unterstützt haben oder sogar direkt am Projekt beteiligt sind. Zudem wird das Thema auch von Seiten der deutschen Bundesregierung als wesentlich angesehen. Beispielsweise wird im Rahmen der *Designinitiative Mikroelektronik*⁹ vom BMBF unter anderem das Netzwerk *Chipdesign Germany* gefördert, in dem eine Allianz geformt wird um die Ausbildung in diesem Bereich in Deutschland zu verbessern. Hoher Bedarf wird aktuell in den klassischen Berufsfeldern im Bereich Chip Design gesehen, die wie folgt in Tabelle 1 dargestellt sind.

Dass im Bereich der Ausbildung in der Mikroelektronik und des Chip Designs in Deutschland eine Lücke zu erwarten ist, bestätigt auch die Antwort der Bundesregierung auf eine kleine Anfrage der

⁸ übersetzt von https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_23_6216

⁹ <https://www.elektronikforschung.de/fokusthemen/designinitiative>

Fraktion der CDU/CSU.¹⁰ Auch wenn dort für den genannten Bereich Mikroelektronik und Chip Design keine konkreten Zahlen genannt werden, so heißt es dort doch „Die Ausbildungskapazität wird in der beruflichen und akademischen Aus- sowie Weiterbildung deutlich gesteigert werden müssen, um den Bedarf an Fachkräften decken zu können.“ Das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) nennt in seiner im Dezember 2022 verfassten Studie „Fachkräftemangel in Berufen der Halbleiterindustrie“¹¹ zwar ebenfalls keine Zahlen für den Bereich Mikroelektronik und Chip Design, im Bereich der Elektrotechnik, der im Bereich der Mikroelektronik und des Chip Designs im Wesentlichen übereinstimmt, auch wenn zu letzterem auch noch weitere Bereiche gezählt werden können, beziffert die Studie die Fachkräftelücke aber auf 2.136 Fachkräfte, 1.713 Spezialisten und 9.603 Experten. In Summe belegen die genannten Aussagen, Studien und Zahlen somit den dringenden Bedarf für eine Verstärkung der Ausbildung im Bereich Mikroelektronik und Chip Design.

5 Wettbewerbsanalyse

5.1 Externe Wettbewerbsanalyse

In Deutschland können exemplarisch folgende Masterstudiengänge benannt werden, die für den Bereich Mikroelektronik und Chip Design als wesentliche Wettbewerber zählen:

- RWTH Aachen, Masterstudiengang *Computer Engineering* und Masterstudiengang *Elektrotechnik und Informationstechnik* mit Schwerpunkt *Micro- and Nanoelectronics*: Die englischsprachigen Studiengänge beinhalten auch Elemente, die im Masterstudium *Microelectronics and Chip Design* gelehrt werden sollen. Allerdings ist keine Fokussierung auf die Entwicklung von Chips in den Studienplänen erkennbar und es erfolgt keine flächendeckende Entwicklung eines eigenen Designs durch die Studierenden.
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Master für *Elektrotechnik und Informationstechnik*, Vertiefungsrichtungen (i) *Mikro-, Nano- und Quantenelektronik*, (ii) *System-on-Chip*: Studierende in diesen beiden Studienrichtungen werden ähnlich wie im Studiengang *Microelectronics and Chip Design* im Design analoger bzw. digitaler Schaltungen und Systeme ausgebildet. Die Studiengänge sind jedoch deutschsprachig und es wird in den Studiengängen, anders als im Studiengang der TUM, kein komplexes Chip Design entwickelt und gefertigt.
- TU Darmstadt, Masterstudiengang *Elektrotechnik und Informationstechnik*: Auch hier werden Veranstaltungen angeboten, die für den Bereich Mikroelektronik und Chip Design eine Rolle spielen. Allerdings wird auch dieser Studiengang in deutscher Sprache und ohne klare Fokussierung auf Chip Design angeboten. Entsprechend ist

¹⁰ Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU – Drucksache 20/10588 – Aktueller Stand der Halbleiter/Chip-Forschungs- und Weiterbildungsstrategie der Bundesregierung; <https://dserver.bundestag.de/btd/20/108/2010844.pdf>

¹¹

https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2023/Februar/Studie_Fachkraeftemangel-Halbleiterindustrie/Studie-Halbleiter-Fachkraefte.pdf

hier auch keine Möglichkeit zur Entwicklung eines Designs durch die Studierenden vorgesehen.

- TU Berlin, Masterstudiengänge *Computer Engineering* und *Elektrotechnik*: In beiden Studiengängen werden auch Inhalte gelehrt, die für den Bereich Mikroelektronik und Chip Design relevant sind. Allerdings ist keine Fokussierung auf diesen Bereich erkennbar, es wird kein Chip Design entwickelt und die Studiengänge werden in deutscher Sprache angeboten.

Ähnlich wie bei den genannten Universitäten wird auch bei vielen weiteren Universitäten in Deutschland und darüber hinaus ein Master im Bereich Elektrotechnik und Informationstechnik angeboten, der Teile der Ausbildung abdeckt, die für die Entwicklung von Chips notwendig sind. Allerdings fehlen aktuell die starke Fokussierung auf Mikroelektronik und Chip Design sowie die Möglichkeit zur Entwicklung eines eigenen Chips für alle Studierenden, die für den hier dokumentierten Studiengang vorgesehen sind. Darüber hinaus wird an vielen Universitäten der entsprechende Studiengang in deutscher Sprache angeboten, was die Gewinnung von internationalen Studierenden erschwert.

Auch in Europa steht der Studiengang in Konkurrenz zu anderen Universitäten. Hier sind insbesondere die Partner Universitäten DTU, KTH, TAU und MSE (vgl. auch Kapitel 1.2) zu nennen, die auch Partner im EU-Projekt *Edu4Chip* sind. Durch die Projektzusammenarbeit werden diese Universitäten ebenfalls eine Ausbildung im Bereich der Mikroelektronik und des Chip Designs anbieten und die Möglichkeit einer Chipentwicklung und Fertigung für ihre Studierende etablieren. Anders als an der TUM, wird dies aber als Spezialisierung innerhalb eines bestehenden Masterstudiengangs erfolgen. Außerdem ist das geplante Vorlesungsangebot an diesen Universitäten deutlich schmäler, als dies an der TUM der Fall sein wird. Durch die Zusammenarbeit ist hier auch eher von der Nutzung von Synergien zu sprechen, die zur Erleichterung der Internationalisierung der TUM-Studierenden dient, als von Wettbewerb.

Außerhalb der EU ist als Wettbewerber mit einem dem Master *Microelectronics and Chip Design* ähnlichen Format insbesondere die University of California, Berkeley zu nennen. Dort wurden bereits im Rahmen des regulären Masterstudiums *Electrical Engineering* medienwirksam ein Chip gefertigt. Allerdings wurde auch hier das Design nur im Rahmen eines spezialisierten Kurses entwickelt. Daneben existieren auch in diversen anderen Universitäten weltweit Masterstudiengänge, die sich mit dem Thema Chip Design auseinandersetzen. Im asiatischen Raum sind beispielsweise die Tsinghua University oder das Taiwan Semiconductor Research Institute (TSRI) an der National Chiao Tung University in Taiwan zu nennen.

Insgesamt lässt sich aussagen, dass es in Deutschland und weltweit bereits Studiengänge gibt, die in der Ausbildung gewisse Überschneidungen mit dem Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* haben. Allerdings sind die hohe Internationalisierung und die Möglichkeit einen eigenen Chip zu entwickeln und zu fertigen Alleinstellungsmerkmale, die bisher nur punktuell für einzelne Studierende an anderen Universitäten möglich waren. Zudem ist hervorzuheben, dass wegen der vorhersehbaren Fachkräftelücke, der Studiengang auf eine Verstärkung und Ergänzung der Ausbildung abzielt. Die gezielte Berücksichtigung der Ausbildung von Studierenden aus angrenzenden Bereichen wie Informatik und Physik, die später häufig im Bereich der Mikroelektronik und des Chip Designs tätig werden, aber hierzu Umschulungen und Weiterbildungen im Beruf durchlaufen müssen um qualifiziert zu werden, führt zudem zu einer Stärkung der Ausbildung.

5.2 Interne Wettbewerbsanalyse

An der TUM gibt es derzeit zwei Studiengänge, die ebenfalls im Professional Profile *Electrical and Computer Engineering* verortet sind und fachlich-inhaltliche Überschneidungen mit dem neuen Studiengang *Microelectronics and Chip Design* aufweisen:

1. Der deutschsprachige Masterstudiengang *Elektrotechnik und Informationstechnik* (MSEI) zählt zu den klassischen, breit aufgestellten Ingenieursstudiengängen der TUM. Er beinhaltet unter anderem einen Schwerpunkt mit Fokus auf *Schaltungsdesign*, in dem viele Fachmodule angeboten werden, die im Studiengang *Microelectronics and Chip Design* ebenso belegt werden können. Anders als im hier dokumentierten Studiengang lernen die Studierenden im MSEI aber nicht, ein vollständiges Chip Design zu entwickeln und bis zur Fertigung zu bringen. Der hierfür notwendige Umfang an spezifisch-praktischen Fertigkeiten im Bereich Chip Design sind nicht mit dem Profil und der Studienstruktur des aktuellen MSEI vereinbar. Zudem adressiert der Studiengang in erster Linie Absolventinnen und Absolventen des Bachelorstudiengangs Elektrotechnik und Informationstechnik der TUM und vergleichbarer Studiengänge, während der Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* auch eine explizite Öffnung für Studierende anderer Disziplinen vorsieht. Der Zugang zum Studiengang MSEI ist für internationale Studierende aufgrund der Unterrichtssprache Deutsch erschwert.
2. Der englischsprachige Masterstudiengang *Communications and Electronics Engineering* weist ebenfalls gewisse fachliche, inhaltliche Überschneidungen auf. Zwar behandelt der Master den Bereich der Elektronik, allerdings ist dieser auf nachrichtentechnische Aspekte ausgelegt. Es werden also eher fachliche Schwerpunkte auf die Bereiche Communications und Electronics gelegt; eine Fokussierung der Studierenden auf das Thema Mikroelectronics and Chip Design ist damit nur bedingt möglich. Ähnlich wie beim deutschsprachigen Master ist zudem der Umfang der Leistungen, die Studierende für eine praktische Implementierung eines Designs einbringen können auf Grund des Profils und der Struktur des Studiengangs beschränkt, sodass eine Ausbildung mit dem Ziel eines tiefen Verständnisses für den gesamten Designflow von Chips nicht möglich ist.

In Summe hebt sich der Studiengang *Microelectronics and Chip Design* in mehrfacher Hinsicht von den zwei TUM-Studiengängen ab: 1. er ist fokussiert auf eine Qualifikation der Studierenden in den Bereichen Mikroelektronik sowie explizit in der Chipentwicklung, im Chipdesign und Chipentwurf, 2. er erlaubt einen höheren Anteil an praktischer Ausbildung entlang des Chip Design-Flows bei gleichzeitiger Forschungsorientierung, 3. er adressiert ein breiteres Bewerberfeld (breitere Zielgruppe). Durch die Zusammenarbeit mit anderen europäischen Universitäten im Rahmen von *Edu4Chip* wird die Internationalisierung, sprich der interkulturelle Austausch in besonderer Weise gefördert; die Forschungspraktika zielen dabei insgesamt auch auf den Aufbau von starken Kommunikations- und Teamfähigkeiten der Studierenden in Vorbereitung auf ihre späteren beruflichen Tätigkeiten ab.

6 Aufbau des Studiengangs

Durch die praktische Entwicklung eines Chip Designs innerhalb des Praktikums, ergänzt durch die Einbindung in eine stets auch forschungsnahe Lehre und ein forschungsbefähigendes Studium (insbesondere neben dem Forschungspraktikum in Form eines wissenschaftlichen Seminars und der Abschlussarbeit), erfolgt die Ausbildung im Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* auf dem neuesten Stand der Technik. Er vermittelt fachliche Expertise im Bereich des Schaltungsentwurfs/-designs und fördert gezielt die Problemlösungsfähigkeiten und das Verantwortungsbewusstsein der Absolventinnen und Absolventen.

6.1 Formaler Aufbau

Der Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* sieht eine Regelstudienzeit von 4 Semestern vor. Das Studium wird mit dem Master of Science (M.Sc.) abgeschlossen. Der Masterstudiengang beinhaltet im Kern zwei verpflichtende Forschungspraktika, bei denen Studierende eine Schaltung entwerfen sollen. Sie durchlaufen dabei die Schritte des funktionalen und des physikalischen Schaltungsentwurfs und lösen entweder eine Entwurfsaufgabe aus dem Bereich des Analog-/Mixed-Signal-Designs oder des Digital-Designs. Um trotz des Forschungspraktikums im Bereich des funktionalen Entwurfs (im zweiten Semester angesetzt) eine hohe Flexibilität der Studierenden zu gewährleisten und insbesondere die Möglichkeit eines einsemestrigen Auslandsaufenthaltes zu schaffen, wird das Forschungspraktikum so gestaltet, dass der für das zweite Semester vorgesehene Teil auch Remote durchgeführt werden kann. Diese Möglichkeit bietet sich insbesondere an, wenn Studierende an einer der Partneruniversitäten des Projekts Edu4Chip, an denen synchronisierte Studienrichtungen und Chip-Design-Projekte angeboten werden, einen Auslandsaufenthalt durchführen möchten (siehe Ausführungen zur Mobilität unten).

Entsprechend der Berufsbilder im Bereich des modernen Schaltungsdesigns ist eine Spezialisierung der Studierenden auf den Bereich des Analog-/Mixed-Signal- oder des Digitaldesigns vorgesehen und es werden wie im Folgenden beschrieben entsprechende Schwerpunktsetzungen empfohlen. Generell ist bei entsprechender Vorkenntnis der Studierenden auch ein Abweichen von dieser Empfehlung möglich, wenn beispielsweise eine Tätigkeit an der Schnittstelle zwischen Analog- und Digital-Design angestrebt wird. Bei Abweichung von der Empfehlung bezüglich einer Vertiefungsrichtung sollte von Studierenden jedoch eine entsprechende im Studiengang angebotene Beratung wahrgenommen werden.

Die insgesamt *120 Credits* des Studiengangs sind in viermal 30 Credits pro Semester unterteilt und umfassen

- (i) Leistungen in den Kernwahlbereichen im Umfang von 20 Credits (empfohlen werden 15 Credits aus dem gewählten Schwerpunkt Kernwahlbereich und 5 Credits aus dem jeweils nicht gewählten Kernwahlbereich), von denen mindestens drei Viertel in den ersten beiden Semestern zu erbringen sind, um die fachliche Basisqualifizierung / das fachliche Rüstzeug für die künftige Expertin bzw. Experten im Bereich der Mikroelektronik und des Chip Designs sicherzustellen;
- (ii) Wahlmodule zur fachlichen Vertiefung aus dem Bereich Mikroelektronik und Chip Design, zur individuellen fachlichen Vertiefung bzw. Spezialisierung innerhalb der Schwerpunktsetzung im Umfang von 30 Credits;

- (iii) Ein wissenschaftliches Seminar, das einerseits die Kommunikationsfähigkeiten stärkt und andererseits zur fachlichen Auseinandersetzung mit den möglichen Spezialisierungsrichtungen dient im Umfang von 5 Credits;
- (iv) Ein Grundlagenpraktikum, das im ersten Semester im Kernbereich des Digitalen oder Analog/Mixed-Signal Schaltungsdesigns erbracht werden muss im Umfang von 5 Credits;
- (v) Ein verpflichtendes Test- und Evaluierungspraktikum beidem ein Chip in Betrieb genommen und getestet wird im Umfang von insgesamt 5 Credits;
- (vi) Ein zweiteiliges Forschungspraktikum im Umfang von 15 Credits in dem ein eigenes Design aus einer Anwendungsdomäne (z.B. ein KI Beschleuniger oder ein gegen Angriffe gesichertes Design) entwickelt und bis zur Fertigungsreife gebracht wird;
- (vii) Wahlmodule zur außerfachlichen Ergänzung, von denen mindestens eines den Fokus auf Ethik und/oder Sustainability legen soll und die ansonsten den Bezug zu Anwendungsfächern herstellen die beispielsweise nicht im Forschungspraktikum bearbeitet werden können, im Umfang von insgesamt 10 Credits;
- (viii) Eine ein Semester dauernden Masterarbeit im Umfang von 30 Credits.

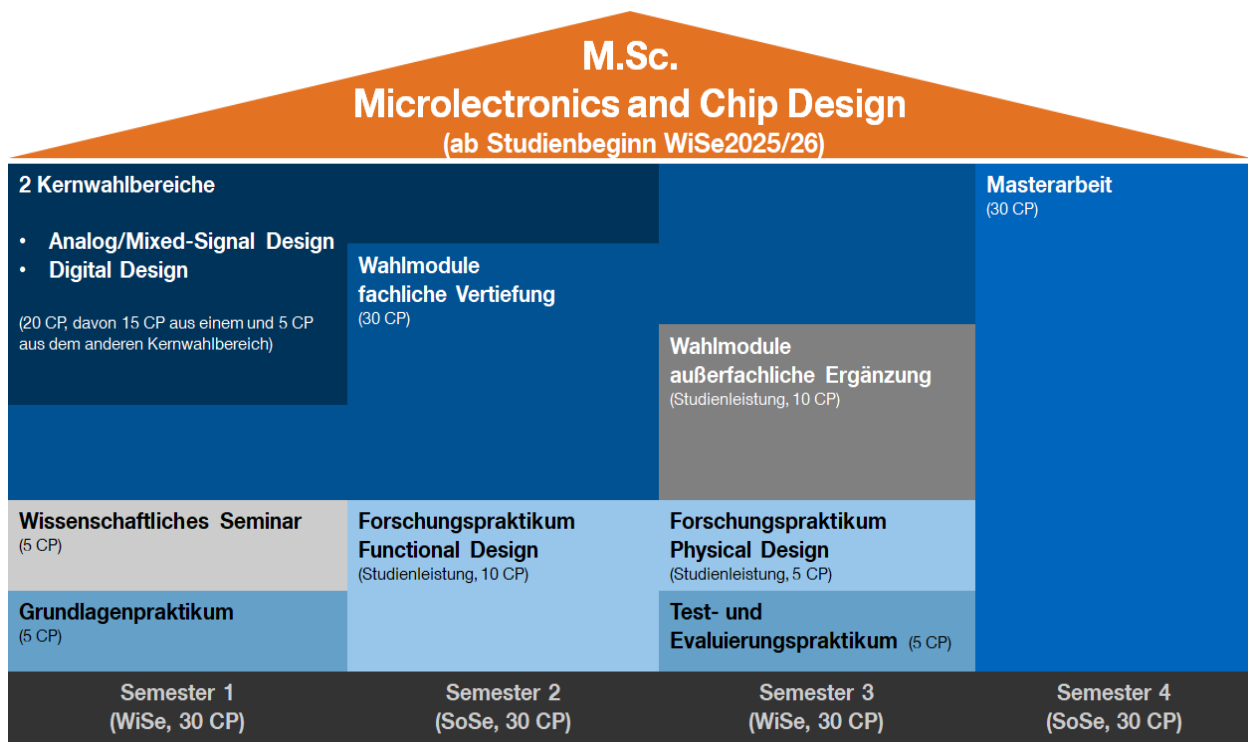


Abbildung 1: Schematische Darstellung der im Studiengang zu erbringenden Credits

6.2. Kompetenzorientierte Erläuterung des Studiengangskonzeptes

Die Aufteilung im Studiengang ist entsprechend in Abbildung 1 dargestellt. Die Struktur trägt wie folgt zur Erlangung der notwendigen Kompetenzen im Bereich Mikroelektronik und Chip Design bei:

Erlangung der theoretischen/methodischen Basis-Kompetenzen durch Kernmodule

Die Studierenden sollen befähigt werden, Aufgaben im Bereich des Chip Designs insbesondere entweder mit **Schwerpunktsetzung** im Bereich **Analog-/Mixed Signal Design** oder mit

Schwerpunktsetzung auf Digital Design zu übernehmen. Hierfür ist eine gewisse Basisqualifikation beziehungsweise ein fachliches Rüstzeug erforderlich. Dies umfasst ein erweitertes Verständnis der physikalischen Zusammenhänge und der Funktionsweise von integrierten Schaltungen und ein gutes Verständnis der Funktionsweise von Entwurfswerkzeugen und der dort verwendeten Optimierungsalgorithmen und Methoden, sowie das methodische Rüstzeug um das Wissen über integrierte Schaltungen unter Anwendung der Kenntnisse bezüglich der Entwurfswerkzeuge anzuwenden um neue integrierte Schaltungen zu entwerfen. Die Fähigkeiten, die für Digitaldesignerinnen bzw. -designer bzw. Analog/Mixed-Signaldesignerinnen und -designer notwendig sind, unterscheiden sich hierbei; beispielsweise werden im Digitalbereich deutlich größere Schaltungen entwickelt, die nur auf hohen Abstraktionsebenen praktisch handhabbar sind, während im Analogdesign auf einem niedrigen Abstraktionslevel mit wenigen Transistoren gearbeitet wird. Um dem Rechnung zu tragen, werden im Studium diese zwei Schwerpunkte, also in den Bereichen Digital- und Analog-/Mixed-Signal Design angeboten. Ein Studium ohne Schwerpunktsetzung ist ebenfalls möglich, wenn eine Tätigkeit an der Schnittstelle von Analog- und Digitaldesign angestrebt wird; hier sollte jedoch ggf. eine Beratung durch die am Studiengang beteiligten Professuren in Anspruch genommen werden. Um das Ziel einer Spezialisierung im Analog-/Mixed-Signal-Bereich bzw. im Digitalbereich zu erreichen, sind im Studiengang zwei zur Schwerpunktsetzung passende Kernwahlmodullisten für die beiden Bereiche definiert, in denen die über ein Bachelorstudium hinausgehenden Fähigkeiten für den jeweiligen Bereich vermittelt werden. Das können je nach Wahl beispielsweise im Digitalbereich Kompetenzen/Fähigkeiten bezüglich der optimalen Aufteilung von Algorithmen in Hardware- und Softwarekomponenten oder bezüglich des Tests von Digitalschaltungen und der Entwicklung von Digitalschaltungen unter Berücksichtigung deren analogen Verhaltens sein. Im Analog-/Mixed-Signal Bereich umfassen die Kompetenzen beispielsweise die Entwicklung spezialisierter Anlogschaltungen oder sogenannter Standardzellen für den digitalen Schaltungsentwurf. Um die notwendige Zusammenarbeit der Designer im späteren Berufsleben zu ermöglichen, genügt es nicht, dass Studierende ausschließlich Basiskompetenzen in ihrem Schwerpunkt erwerben. Auch Studierende mit Schwerpunkt Digitaldesign müssen in die Lage versetzt werden Analogkomponenten zu verstehen; Studierende mit Schwerpunkt Analog-/Mixed-Signal Design müssen befähigt werden neue Schaltungen im Kontext von überwiegend digitalen Systemen zu entwickeln und die von ihnen entwickelten Anlogschaltungen in eine komplexe Digitalschaltung zu integrieren. Um dieses Ziel zu erreichen müssen Studierende auch mindestens ein Modul aus der jeweils anderen Kernwahlmodulliste belegen. In Summe wählen Studierende mit einer Spezialisierung im Bereich Analog-/Mixed-Signal-Design oder Digital Design jeweils drei Veranstaltungen im Umfang von 15 Credits aus ihrem Schwerpunktbereich; von allen Studierenden müssen unabhängig von einer Spezialisierung jedoch aus jedem Kernbereich mindestens 5 Credits erbracht werden Studierende mit Schwerpunkt Digital Design müssen also beispielsweise 15 Credits aus der Kernmodulwahlliste „Digital Design“ und 5 Credits aus der Kernmodulwahlliste „Analog-/Mixed-Signaldesign“ erbringen; für Studierende mit Schwerpunkt „Analog-/Mixed-Signaldesign“ ist die Aufteilung der Credits entsprechend vertauscht. Dadurch wird einerseits die fachliche Tiefe im jeweils gewählten Kernbereich, andererseits die notwendige Breite für das Verständnis des jeweils anderen Kernbereichs sichergestellt. Der unterschiedlichen Vorkenntnisse der Studierenden aus unterschiedlichen Bachelorstudienrichtungen wird dabei durch eine Wahlmöglichkeit innerhalb der Kernmodule Rechnung getragen. Um die notwendige Kernkompetenz bereits frühzeitig im Studium zu erlangen, müssen 15 der insgesamt 20 Credits sowie das im Folgenden beschrieben Grundpraktikum bereits frühzeitig im ersten und zweiten

Semester des Masterprogramms erbracht werden, sodass spezialisierte Vorlesungen darauf aufbauen können.

Erlangung der praktischen Basis-Kompetenzen für das Chip Design

Zur Qualifizierung zur Chip Designerin bzw. zum Chip Designer gehört die Fähigkeit, theoretische Konzepte (z.B. das Verständnis von Entwurfswerkzeugen und das theoretische Wissen über den Entwurf von integrierten Schaltungen) in hoher Qualität praktisch umzusetzen. Als grundlegender Baustein müssen die Studierenden daher lernen, theoretische Konzepte (z.B. bezüglich der Implementierung einer analogen Schaltung, wie etwa einer komplexen Verstärkerschaltung) und Algorithmen (z.B. für die Kontrolle einer bestimmten Anwendung wie etwa einer Kommunikationsschnittstelle) zu abstrahieren und in eine hardwarenahe Beschreibung zu überführen. Dies wird im Rahmen eines Grundlagenpraktikums im Umfang von 5 Credits erlernt, welches die Studierenden auf diese Aufgabe entweder im Bereich des digitalen oder analogen Schaltungsentwurfs vorbereitet. Studierende mit dem Schwerpunkt des digitalen Schaltungsentwurfs erlangen einerseits sehr gute Kenntnisse in einer Hardwarebeschreibungssprache und im konzeptionellen Vorgehen, um bestimmte Hardwarebausteine mit einer solchen Sprache richtig und effizient zu beschreiben. Andererseits erlernen sie wesentliche Strategien, um digitale Systeme auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu simulieren und zu testen. Studierende mit dem Schwerpunkt im analogen Schaltungsdesign sind nach dem Grundlagenpraktikum in der Lage, einfache analoge Schaltungen eigenständig auf Transistorebene zu entwerfen und wesentliche Charakteristika solcher Schaltungen mittels Simulation zu bestimmen und zu überprüfen.

Erlangung der praktischen Experten-Kompetenzen für das Chip Design

Um eine Expertise in der Entwicklung von hochwertigen, innovativen Chips zu erlangen, ist es erforderlich, dass Studierende mit typischen praktischen Fragestellungen und Schwierigkeiten bei der praktischen Realisierung eines Chips in ausgewählten Anwendungsbereichen/-domänen in Berührung kommen und entsprechende Erfahrungen sammeln. Als Beispiel für eine solche Fragestellung aus dem Digitalbereich kann der Entwurf eines Beschleunigers für eine KI-Anwendung unter Nebenbedingungen bezüglich der zulässigen Fläche, Frequenz und Latenz genannt werden, was Abwägungen sowohl bzgl. der Aufteilung in Hardware- und Softwarekomponenten, als auch bezüglich der Umsetzung dieser Komponenten erfordert um ein möglichst optimales Ergebnis zu erreichen. Im Studiengang *Microelectronics and Chip Design* wird die Vermittlung dieser Kompetenz durch ein verpflichtendes, zweiteiliges, projektorientiertes Forschungspraktikum sichergestellt. In diesem durchlaufen Studierende den Prozess von einer Spezifikation bis zur Umsetzung und Fertigstellung eines Chips. In einem sich daran anschließenden verpflichtenden Test- und Evaluierungspraktikum nehmen die Studierenden diesen Chip dann in Betrieb. Zur Durchführung der Praktika kommen kommerzielle Entwurfswerkzeuge zum Einsatz, die auch im industriellen Umfeld Verwendung finden. Solche Werkzeuge werden beispielsweise von den Firmen Cadence¹² oder Synopsys¹³ angeboten und Universitäten über Europractice¹⁴ für Lehr- und Forschungszwecke zur Verfügung gestellt. Um mit diesen Werkzeugen einen Chip entwerfen

¹² <https://www.cadence.com>

¹³ <https://www.synopsys.com>

¹⁴ <https://www.europractice.com>

zu können muss darüber hinaus ein, die Technologie beschreibendes, so genanntes Process Design Kit (PDK) verwendet werden. Um den Chip der Studierenden in einer aktuellen Technologie fertigen zu können kommt im Studiengang eine kommerzielle Technologie zum Einsatz, wie sie beispielsweise von GlobalFoundries (GF)¹⁵, STMicroelectronics (ST)¹⁶ Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC)¹⁷ oder United Microelectronics Corporation (UMC)¹⁸ angeboten wird. Wo diese PDKs den Abschluss individueller Lizenz und Geheimhaltungsvereinbarungen für Studierende erforderlich machen, wird zusätzlich angeboten das Design entweder mit einem für die Ausbildung veränderten PDK, oder mit einem Open Source PDK, wie es beispielsweise vom Leibnitz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP)¹⁹ oder von Skywater Technology²⁰ angeboten wird. Die Lernergebnisse des Praktikums (vgl. Modulbeschreibungen) können unabhängig von den beschriebenen Werkzeugen dabei gleichermaßen erreicht werden; Unterschied wäre, dass die Fertigung des Chips auf Basis eines für die Ausbildung veränderten PDK nicht möglich wäre und die Fertigung eines Chips in einer Open Source Technologie voraussichtlich (zumindest vorerst) im Studium nicht praktikabel ist.

Studierende mit einem Fokus auf das digitale Schaltungsdesign belegen dabei im ersten Teil ein Forschungspraktikum zum funktionalen Digitaldesign, welches einen Umfang von 10 Credits hat, mit der Vorgabe, einen Algorithmus aus einem Anwendungsfeld mittels eines Hardwarebeschleunigers umzusetzen. Dabei sind grundsätzliche Strategien des Hardware-/Software-Co-Designs genauso zu berücksichtigen, wie Spezifikationen bzgl. beispielsweise Fläche, Taktfrequenz oder Leistungsaufnahme. Als Anwendungsfeld können Studierende dabei einen von mehreren Bereichen, wie Hardware Design for Security oder Acceleration of AI wählen, die von verschiedenen Lehrstühlen angeboten werden. Die Studierenden entwickeln dann zunächst in Gruppen von fünf Teilnehmenden ausgehend von der Spezifikation ein Konzept inklusive eines Arbeitsplans für die Umsetzung und eines Verifikationsplans. Das Konzept sowie Arbeits- und Verifikationsplan werden in Seminaren (vorgesehen ist im Schnitt etwa eine Semesterwochenstunde pro Woche) vorgestellt, diskutiert und verbessert. Anschließend erfolgt eine Umsetzung des Konzepts und die Synthese des Designs bis hin zu einer Gatter-Netzliste; hierbei kommen die im Grundlagenpraktikum erlernten Fähigkeiten zum Einsatz. Das erfolgreiche Bestehen des Praktikums wird anhand einer Projektarbeit insbesondere durch Tests nachgewiesen, welche die funktionale Korrektheit der Schaltung und die Einhaltung von Spezifikationen belegen. Nach Abschluss des ersten Teils wird von den Studierenden ein Praktikum zum physikalischen Design von Digitalschaltungen absolviert; d.h. die Studierenden durchlaufen mit ihrem Design die Schritte von einer Gatternetzliste hin zur Generierung von Maskendaten, die an eine Chip-Fabrik geschickt werden können. Hierbei werden insbesondere erlernte Kenntnisse bzgl. der verwendeten Algorithmen bei den Entwurfswerkzeugen und das Verständnis für das analoge Verhalten der Digitalschaltungen vertieft. Der Umfang dieses zweiten Teils des Forschungspraktikums umfasst 5 Credits. Die erfolgreiche Absolvierung des Praktikums wird durch das Vorliegen eines Designs nachgewiesen, in dem alle Designregeln berücksichtigt sind, die für eine Chipfertigung eingehalten werden müssen, und das eine

¹⁵ <https://gf.com>

¹⁶ <https://www.st.com>

¹⁷ <https://www.tsmc.com>

¹⁸ <http://www.umc.com>

¹⁹ <https://www.ihp-microelectronics.com>

²⁰ <https://www.skywatertechnology.com>

Äquivalenzprüfung des Designs vor und nach der Durchführung der verschiedenen Arbeitsschritte besteht.

Die Aufgabenstellung des Forschungspraktikums für Studierende mit einem Fokus auf analoges Schaltungsdesign ist strukturell ähnlich dem für den Schwerpunkt des Digitaldesigns. Unterschiedlich ist hier im Wesentlichen die Spezifikation sowie der Start und Endpunkt der verschiedenen Arbeitsschritte. Studierende mit Schwerpunkt Analogdesign erhalten als Aufgabenstellung im Forschungspraktikum zum funktionalen Design von Analog-/Mixed-Signal-Schaltungen die Spezifikation von Schaltungseigenschaften für einen analogen Baustein, wie beispielsweise für eine Phase-Locked Loop. Dieser Baustein wird dann im ersten Forschungspraktikumsteil von Studierenden entwickelt, bis auf Transistorebene synthetisiert und mittels Simulation getestet. Im anschließenden zweiten Forschungspraktikum zum physikalischen Design von Analog-/Mixed-Signal-Schaltungen erfolgt das Layout des Designs durch die Studierenden. Der Nachweis des Bestehens des Forschungspraktikums erfolgt äquivalent zum oben beschriebenen digitalen Kernbereich.

Um sicherzustellen, dass die Aufgabe im Bereich des Schaltungsentwurfs bzgl. der Komplexität durchführbar ist und die gefertigten Chips funktionstüchtig sind, handelt es sich bei den beschriebenen Aufgabenstellungen um Entwicklungsaufgaben für Teilkomponenten eines Designs, die in einen Template-Chip mit Housekeeping-Funktionalität integriert werden sollen. Die beiden Forschungspraktika zum funktionalen und physikalischen Design von Schaltungen sollen dabei aufgrund der logischen Zusammenhänge im Entwurfsablauf wie oben beschrieben belegt werden, sodass die Studierenden in den beiden Praktika in einer Gruppenarbeit mit ca. 5 Teilnehmenden einen Chip entwickeln, der dann in ein Tape-Out gegeben wird. Die Teile des Forschungspraktikums sind jedoch soweit entkoppelt, dass für Studierende mit entsprechenden Vorkenntnissen auch eine flexible Belegung prinzipiell möglich ist. Studierende sollten vor der Entscheidung von der Empfehlung abzuweichen jedoch das Beratungsangebot der teilnehmenden Professuren wahrnehmen.

Als letzter Beitrag zur Erlangung der praktischen fachlichen Expertise nehmen die Studierenden ein Design in einem Test- und Evaluierungspraktikum in Betrieb und führen Experimente entsprechend der Themenstellung durch (bei vorheriger erfolgreicher Durchführung des zweiteiligen Forschungspraktikums können Studierende hierbei auf ihrem eigenen gefertigten Chip weiterarbeiten). Hierdurch wird neben der technischen Befähigung der Studierenden ein entwickeltes Design in Betrieb zu nehmen, auch die Befähigung zur experimentellen Forschung geschult. Der Umfang dieses Test- und Evaluierungspraktikums beträgt 5 Credits.

Das zweiteilige Forschungspraktikum sowie das Test- und Evaluierungspraktikum sind so gestaltet, dass einzelne Studierende auch eigene Projektideen einbringen können oder die Praktika bei Industriepartnern durchgeführt werden können. Bei einem entsprechenden Vorschlag durch Studierende muss von den Studierenden eine am Masterprogramm beteiligte, prüfungsberechtigte Person gefunden werden, welche die Machbarkeit des Projekts sowie dessen Gleichwertigkeit mit den vorgegebenen Projekten bestätigt und die Funktion der Prüferin bzw. des Prüfers übernimmt. Möchten Industriepartnern entsprechende Projekte anbieten, wird über die Studiengangadministration eine entsprechende prüfungsberechtigte Person gesucht. Diese bestätigt die Befähigung des Industriepartners zur Durchführung des geplanten Projekts sowie die Gleichwertigkeit des Projekts mit den Referenzprojekten und prüft das erfolgreiche Bestehen der Module durch die Studierenden.

Erlangung vertiefender und spezialisierter Fachkompetenzen im Chip Design

Neben der Schaffung der notwendigen Breite im Rahmen der Kernmodule, sollen Studierende im Studiengang Microelectronics and Chip Design die Möglichkeit erhalten, sich in einem oder in mehreren Bereich(en) des Chip Designs zu spezialisieren. Sie können beispielsweise einen Fokus auf hochaktuelle Themenbereiche wie etwa Design für sichere Hardware, Design von Hardwarebeschleunigern für KI oder auf Design von integrierten Hochfrequenzschaltungen legen. Hierzu dient der Wahlbereich „fachliche Vertiefung“, aus dem die Studierenden mindestens 30 CP einbringen sollen. Das Modulangebot umfasst hochaktuelle, forschungsrelevante Themen und vermittelt anspruchsvolles Fachwissen und Fähigkeiten (stets mit starken Praxis- und/oder Forschungsbezügen) mit dem Ziel, die Studierenden fachlich sowohl auf eine industrielle Tätigkeit sowie auf eine an das Masterprogramm anschließende Forschungstätigkeit vorzubereiten. Im Rahmen der fachlichen Vertiefung wird auch das für Nachhaltigkeit hoch relevante Thema des Energiebedarfs thematisiert (z.B. Modul Innovative Computing for AI).

Die Auswahl der fachlichen Vertiefungen ist für die Studierenden gezielt offen gestaltet. Angebotene Module haben in der Regel in großen Teilen Vorlesungscharakter und fokussieren sich auf theoretische Konzepte und Methoden, oftmals mit Anwendungsbezügen, die über begleitende Übungen, Hausaufgaben oder Praktika hergestellt werden. In die Lehre werden an dieser Stelle verstärkt auch Lehrbeauftragte aus der Industrie eingebunden, wodurch im Studium sehr gute Praxisbezüge hergestellt werden. Außerdem können diese Kompetenzen auch sehr gut im Rahmen von Auslandsaufenthalten an den hervorragenden Partneruniversitäten oder durch die Belegung von ausgewählten Modulen aus dem EuroTeQ-Kursprogramm²¹ (z.B. Module *Microprocessors* oder *Biomedical Microelectromechanical Systems*) im Bereich der fachlichen Vertiefung erworben werden.

Erlangung von Recherche- und Kommunikationskompetenz und Orientierung

Im Rahmen des zweiteiligen Forschungspraktikums wird von Studierenden erwartet, dass sie in Gruppenarbeit überwiegend selbstständig eine vorgegebene Spezifikation bis hin zum fertigen Chip entwickeln und ihre Konzepte und Ergebnisse in Seminaren vorstellen. Um selbstständige Arbeiten auf einem für die Studierenden neuen Themenfeld zu erlangen ist es notwendig, die Studierenden vorab zu eigenständigen, komplexeren Recherchearbeiten zu befähigen, die ihnen erlauben wissenschaftlichen Texten zu bewerten und darauf aufbauend neue Lösungen zu erarbeiten. Zudem müssen die Studierenden darauf vorbereitet werden, komplexe Zusammenhänge und Konzepte fachkundig aufzubereiten und vorzutragen und die Ergebnisse ihrer Arbeiten zu verteidigen.

Zur Erlangung der erforderlichen Recherche- und Kommunikationskompetenz dient im Studiengang ein wissenschaftliches Seminar im Umfang von 5 Credits, das verpflichtend im ersten Studiensemester durchgeführt werden muss. Die Studierenden vertiefen hierbei zugleich wichtige Aspekte der Befähigung zum wissenschaftlichen, forschungsnahen Arbeiten (bspw. Einhaltung der Richtlinien zur guten wissenschaftlichen Praxis und Zitieren), was einerseits innerhalb des späteren Studienverlaufs, insbesondere in Hinblick auf die Masterarbeit, aber auch für eine spätere mögliche wissenschaftliche Karriere essentiell ist.

²¹ <https://eduxchange.eu/for-students-tum/explore>

Zusätzlich zur Notwendigkeit, Studierende frühzeitig für die Durchführung von Recherche und Präsentationen zu schulen, dient das wissenschaftliche Seminar im Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* einem weiteren Zweck: Die Studierenden müssen sich im Rahmen des Forschungspraktikums bereits im zweiten Semester auf ein Themengebiet festlegen, in dem sie ein Design entwickeln wollen. Es ist dabei vorgesehen, dass Studierende ab diesem Zeitpunkt durchgehend am selben Design arbeiten. Um hier die Möglichkeit zur Orientierung zu bieten und Studierende bei der Wahl der thematischen Richtung zu unterstützen, können sie sich bereits im Rahmen des wissenschaftlichen Seminars mit einem der relevanten Themenbereiche auseinandersetzen und sich so auf dem Themenfeld weiterbilden und prüfen, ob die getroffene Wahl ihren Vorstellungen und Wünschen entspricht.

Es ist zu erwähnen, dass auch das oben genannte Forschungspraktikum der Förderung der Kommunikationsfähigkeit der Studierenden dient. Die Zusammenarbeit der Gruppen wird grundsätzlich in den Einführungsveranstaltungen zum Praktikum erläutert und die Rollenverteilung und Dynamik in Gruppen erklärt. Hierzu sind, wie im folgenden Abschnitt erläutert, Seminare geplant, die von TUM Venture Labs²² durchgeführt werden sollen. Die dort präsentierten Konzepte werden dann durch das Praktikum erlebbar und als Nebenergebnis der Projektarbeit eingeübt, was zu einer Ausbildung der Studierenden bezüglich Konfliktfähigkeit, Kompromissfähigkeit und Kommunikationsfähigkeit führt.

Erlangung überfachlicher Kompetenzen

Wie bereits erläutert werden Studierende des Masterstudiengangs *Microelectronics and Chip Design* bereits durch das im Studium verankerte, gruppenbasierte Forschungspraktikum und das durchzuführende wissenschaftliche Seminar in den überfachlichen Kompetenzen Konfliktfähigkeit, Kompromissfähigkeit und Kommunikationsfähigkeit geschult. In diesem Rahmen sind im Forschungspraktikum auch drei Seminare zu den Themen Gruppenarbeit, -rollen und -strukturen, Projektplanung und -durchführung und Entrepreneurship geplant, die in Zusammenarbeit mit TUM Venture Labs entwickelt und durchgeführt werden. Zudem können Studierende sich im Rahmen von Wahlfächern im Umfang von mindestens 10 Credits überfachliche Kompetenzen aneignen. Hierbei muss mindestens ein Modul/Module im Umfang von 3 Credits aus Themenbereichen wie Ökologie oder Sustainability gewählt werden, das/die konkret das gesellschaftliche Verantwortungsbewusstsein schult/schulen. Für diesen Themenbereich sollen die Studierenden bevorzugt aus dem von der TUM School of Social Sciences and Technology für die technischen Studiengänge zur Verfügung gestellten Modulkatalog wählen²³. Die verbleibenden Credits können entweder ebenfalls aus diesen Themenbereichen gewählt oder für ein oder mehrere weitere überfachliche Module aus – aus Sicht des Chipdesigns – Anwendungsfächern wie Automotive, Avionik oder Medizintechnik gewählt werden, um Wissen in zusätzlichen Anwendungsdomänen aufzubauen. Hier sei darauf hingewiesen, dass alle Studierenden mit ausgewählten Anwendungsbereiche/-domänen bereits in den Forschungspraktika eng in Berührung kommen (z.B. sind das dort Themen wie KI oder Security.), da sie dort in einer konkreten Anwendungsdomäne einen Chip entwickeln müssen. Im Bereich der außerfachlichen Ergänzung sind weitere Module zu bestimmten „Anwendungsfächern“ wählbar, damit Studierende – je nach individuellem Interesse -

²² <https://www.tum-venture-labs.de/>

²³ <https://www.sot.tum.de/wtg/lehrveranstaltungen/nach-themen/>

lernen können, welche Lösungsansätze und Probleme es in weiteren Anwendungsfächern gibt (ohne Fokus auf den konkreten Bau eines Chips, daher überfachlich). Die Wahl aus diesen Anwendungsfächern fördert insbesondere das Verständnis für die Anforderungen an das Chip Design, die später an die Absolventinnen und Absolventen herangetragen werden, unterstützt die Ausbildung der überfachlichen Kommunikation sowie des kritischen, sachbezogenen Reflektierens und Argumentierens der Studierenden

Praxisbezüge im Studium

Für das Berufsbild des Chipdesigners sind insbesondere auch die mit Design verbundenen praktischen Fähigkeiten relevant. Dazu stellt der Studiengang Microelectronics and Chip Design an verschiedenen Stellen Anwendungs- und Praxisbezüge her. Zunächst werden die oben beschriebenen fachlichen Lehrveranstaltungen in den Bereichen der Kernwahlmodule (z.B. Testing Digital Circuits) oder der fachlichen Vertiefung (z.B. Advanced Cryptographic Implementations) an sinnvollen Stellen von Lehrbeauftragten aus der Industrie gehalten oder durch Gastvorträge aus der Industrie ergänzt. Zusätzlich bildet das Forschungspraktikum mit vorgelagertem Grundlagenpraktikum und nachgelagertem Test- und Evaluierungspraktikum Studierende praxisnah aus, sodass die Konzepte des Chip-Designs nicht nur theoretisch vermittelt werden, sondern von den Studierenden auch praktisch umgesetzt werden können. Durch die Projektarbeit in Teams mit in der Praxis eingesetzten Werkzeugen, die Fertigung eines Chips, und die selbstständige in Betriebsnahe ergibt sich dabei in den Forschungspraktika und im Test- und Evaluierungspraktikum eine besondere Praxisrelevanz. Die Masterarbeit, die von der Mehrheit der Studierenden im industriellen Umfeld durchgeführt wird, stellt einen weiteren Ankerpunkt für den Praxisbezug des Studiums dar, sodass insgesamt eine theoretisch fundierte Ausbildung mit einer gleichzeitigen praktischen Befähigung sichergestellt ist.

Internationalisierung, Mobilitätsfenster und Digitalisierung

Der Studiengang *Microelectronics and Chip Design* ist ein englischsprachiger Studiengang, der auch internationale Studierende aus europäischen und außereuropäischen Ländern adressiert. Bereits dieser Aspekt führt durch die Zusammenarbeit in Projektgruppen zu einer weltoffenen Kultur im Studiengang und einer hohen Internationalität. Darüber hinaus wird der Studiengang im Rahmen eines europäisch geförderten Projekts entwickelt. In diesem Zusammenhang sollen zusätzliche Austauschplätze im Rahmen des Erasmus+ Programms²⁴ zwischen den oben genannten beteiligten europäischen Universitäten und der TUM geschlossen werden. Da die an den Partneruniversitäten angebotenen Programme im Bereich Chip Design aufeinander abgestimmt sind, kann im Rahmen des Projekts zwischen den Partneruniversitäten festgelegt werden, welche Vorlesungen in welcher Form anerkannt werden; diese Information wird dann auch allen Studierenden bspw. über die Internetseite des Studiengangs bekannt gegeben. Dadurch wird ein Studium ohne Zeitverlust trotz Nutzung des unten beschriebenen Mobilitätsfensters deutlich erleichtert. Zusätzlich ist geplant ausgewählte Veranstaltungen remote anzubieten, sodass eine Teilnahme von Studierenden der am Edu4Chip-Projekt beteiligten Universitäten möglich ist. Für eine vollwertige Anerkennung in den Wahlbereichen des Studiengangs müssen jedoch noch Prüfungsmodalitäten geklärt und entsprechende Verträge geschlossen werden. Ein Weg um ein solches digitales Austauschprogramm zumindest mit der DTU zu ermöglichen bietet bereits heute das Projekt der EuroTeQ Engineering

²⁴ <https://www.erasmusplus.de>

University²⁵. Neben den unmittelbaren Maßnahmen im Studium, stellen auch die für das Projekt Edu4Chip geplanten Summer Schools, in denen einerseits Studierende aus dem Masterprogramm, aber auch Studierende aus vorgelagerte Bachelorprogrammen die Möglichkeit erhalten sollen, mit aktuellen Themen im Bereich des Chip Designs in Kontakt zu kommen, eine weitere Möglichkeit zur Internationalisierung dar.

Gemäß Bayerischer Studienakkreditierungsverordnung (§12 (1) Satz 4) ermöglicht der Masterstudiengang den Studierenden einen Aufenthalt an anderen Hochschulen ohne Zeitverlust; Dieser Austausch kann idealerweise in einem der dafür vorgesehenen **Mobilitätsfenster** erfolgen, wofür sich das zweite Semester anbietet: Im ersten Semester wird das fachliche Rüstzeug vermittelt um insbesondere das Forschungspraktikum durchführen zu können, weshalb ein Mobilitätsfenster hier nicht zielführend ist. Nach dem ersten Semester beginnen Studierende mit dem Forschungspraktikum, bei dem sie im Idealfall über das gesamte zweiteilige Praktikum und auch im anschließenden Test- und Evaluierungspraktikum durchgängig an ihrem Design arbeiten. Im zweiten Semester ist zwar der erste Teil des Forschungspraktikums vorgesehen, dieser kann jedoch auch remote in digitaler Form durchgeführt oder bei einer der Partneruniversitäten des Edu4Chip Programms belegt werden. Da zudem der Studienplan so gestaltet werden kann, dass neben dem Forschungspraktikum im zweiten Semester nur Wahlmodule belegt werden, und eine breite Anerkennung von abgestimmten Modulen an den Partneruniversitäten vorgesehen ist, können die notwendigen Leistungen auch niederschwellig an einer der Partneruniversitäten, oder – mit Klärung der Anerkennung von Modulen – an anderen internationalen Universitäten erbracht werden. Somit bietet sich das zweite Semester als Mobilitätssemester an. Im dritten Semester ist für das Backend Design eine Remotedurchführung des Forschungspraktikums schwer zu realisieren, sodass ein Mobilitätssemester nicht ausschließlich in dieses Semester gelegt werden sollte. Es ist jedoch möglich an einer der Partneruniversitäten des Edu4Chip Projekts beide der auf zwei Semester aufgeteilten Teile des Forschungspraktikums zu absolvieren; zwei aufeinanderfolgende Mobilitätssemester an einer solchen Partneruniversität sind also ebenfalls ohne Zeitverlust möglich. Neben einem Mobilitätssemester wie oben beschrieben steht auch einer Durchführung der Masterarbeit im Ausland nichts entgegen, sodass auch hier ein Mobilitätssemester ohne Zeitverlust gelegt werden kann. Für die Finanzierung des Austauschs werden dabei insbesondere mit den Universitäten, die am EU Projekt Edu4Chip beteiligt sind, Erasmus+ Austauschprogramme vorgesehen.

Für den Studiengang ist auch geplant, im Rahmen des EU Projekts Edu4Chip Vorlesungen der Partneruniversitäten auch in digitaler Form zu öffnen. Studierende können die so angebotenen Vorlesungen dann direkt im regulären Studium mittels Remoteteilnahme belegen und sich als Teil der regulären Studienleistung anerkennen lassen. Dieses Vorgehen trägt zusätzlich dazu bei, die Internationalisierung der Absolventinnen und Absolventen zu fördern. Während der Besuch solcher Remoteveranstaltungen im Rahmen der EuroTeQ Engineering University bereits heute möglich ist, und im Programm die Anerkennung solcher Kurse vorgesehen ist, müssen für das Projekt Edu4Chip noch die rechtlichen Rahmenbedingungen geklärt und Verträge geschlossen werden, um diese Form des Austauschs zu ermöglichen.

²⁵ <https://euroteq.eurotech-universities.eu>

Masterarbeit

Die Masterarbeit stellt die wissenschaftliche Abschlussarbeit im letzten Fachsemester dar. Im Rahmen der sechsmonatigen Masterarbeit (30 Credits) müssen die Studierenden durch die eigenständige Konzeption und Durchführung einer praktischen Forschungsarbeit eine spezifische, komplexe Problemstellung aus dem Themenbereich Mikroelektronik und Chipdesign lösen. Hierbei werden erlernte fachliche theoretische und praktische Ansätze und wissenschaftliche Methoden eingesetzt. Die Masterarbeit besitzt den Charakter einer Projektarbeit, in der nicht nur manuelle Tätigkeiten gefordert werden, sondern auch planerische und konzeptionelle Komponenten enthalten sind, die dem umfassenden Aufgabenspektrum im Berufsleben beziehungsweise der Tätigkeit von Ingenieurinnen und Ingenieuren im Chip Design entsprechen. Neben der Abgabe der schriftlichen Arbeit sollen die Studierenden die Ergebnisse ihrer Forschungsarbeit im Rahmen eines abschließenden Vortrages (Dauer: ca. 20 Minuten) präsentieren und mit dem Fachpublikum kritisch diskutieren.

Ablauf des Studiums

Der Ablauf des Studiums orientiert sich an den Erfordernissen des Chip Designs, welches im Laufe des Studiums durchgeführt werden soll und gliedert sich in vier Abschnitte, die exemplarisch an Musterstundenplänen für die Schwerpunktrichtung Digital Design bzw. Analog/Mixed-Signal Design unten angegeben sind. In der ersten Phase erlernen Studierende primär die auf den Kenntnissen der Bachelorstudiengänge aufbauenden Grundlagen des Chip Designs. Die entsprechenden Kernmodule sind daher verstärkt im ersten Studiensemester zu finden, genauso wie das Grundlagenpraktikum zur Vermittlung der erforderlichen praktischen Fähigkeiten für die Durchführung des Projekts. Auch das wissenschaftliche Seminar ist für Studierende im ersten Fachsemester vorgesehen wie oben beschrieben. Ein weiteres Fach kann frei gewählt werden; beispielsweise kann hier ein Fach der außerfachlichen Ergänzung eingebracht werden. Im zweiten Fachsemester befassen sich die Studierenden mit Themen des Frontend Designs. Entsprechend ist der dafür vorgesehene Teil des Forschungspraktikums in diesem Semester angesiedelt. Daneben belegen Studierende passende Wahlmodule zur fachlichen Vertiefung oder Kernwahlmodule, in denen der entsprechende theoretische und methodische Hintergrund gelehrt wird. Dieses Semester ist besonders gut für ein Mobilitätssemester geeignet. Zu Beginn des dritten Semesters fertigen Studierende das Backend Design ihres Chips an, der anschließend in die Fertigung geht. Die Inbetriebnahme und Experimente mit dem Chip erfolgen in einem Test- und Evaluierungspraktikum am Ende des Semesters. Parallel dazu hören Studierende Vorlesungen, die sich mit der Methodik und theoretischen Aspekten des Backend Designs befassen. Diese Vorlesungen können aus dem Katalog der Wahlmodule zur fachlichen Vertiefung oder dem Kernwahlmodulkatalog, sowie aus dem Katalog der außerfachlichen Ergänzungen gewählt werden, sodass die Studierenden insgesamt die oben beschriebenen Credits aus den verschiedenen Bereichen der Kernwahlmodule und Wahlmodule zur fachlichen Vertiefung und außerfachlichen Ergänzungen erbracht haben.

Beispielhafte Musterstudienpläne

Studienplan Kernbereich „Digital Design“

Microelectronics and Chip Design							Credit Points/ Prüfungsanzahl
Kernbereich: <i>Digital Design</i>							
Semester	Module						
1.	EI70630 HW/SW Codesign (WiSe/SoSe) (Kernwahl:D) (Klausur) 5 CP	EI50141 Testing Digital Circuits (WiSe) (Kernwahl:D) (mündliche Prüfung) 5 CP	EI70730 Memory Technologies for Data Storage (WiSe) (Kernwahl:D) (Klausur) 5 CP	EI71095 Multi-Criteria Optimization and Decision Analysis for Embedded Systems Design (WiSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	CIT431016 HDL Chip Design Laboratory (WiSe) (Wahl: Grundlagenpraktikum) (Übungsleistung) 5 CP	EI5092 Seminar on Security in Information Technology (WiSe) (wissenschaftliche Ausarbeitung) 5 CP	30/6
2. <i>Mobilitätsfenster</i>	EI70710 Advanced Electronic Devices (SoSe) (Kernwahl:A) (Klausur) 5 CP	EI71013 System Design for the Internet of Things (SoSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	EI70520 Circuit Design for Security (SoSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	EI71108 CMOS Analog-to-Digital Converters (SoSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	CIT431014 Research Laboratory Functional Design of Integrated Digital Circuits (SoSe) (Projektarbeit) 10 CP		30/5
3.	POL60900 Information Technologies, Protest, and Conflict (WiSe) (Wahl: außerfach) (wissenschaftliche Ausarbeitung) 6 CP	SZ0337 German as a Foreign Language A1.1 (WiSe/SoSe) (Wahl: außerfach) (Lernportfolio) 4 CP	CIT433031 Machine Learning for Electronic Design Automation and Manufacturing (WiSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	EI7384 System-on-Chip Technologies (WiSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	CIT431017 Research Laboratory Physical Design of Integrated Digital Circuits (WiSe) (Projektarbeit) 5 CP	CIT431013 Chip Design Test and Evaluation Course (WiSe) (Projektarbeit) 5 CP	30/6
4.	EI8950 Master's Thesis 30 CP						30/6
Legende:	Kernmodule Digital Design: D (15 ECTS)	Wahlmodule außerfachliche Ergänzung (10 ECTS)	Wahlmodule Grundlagenpraktikum (5 ECTS)	Wahlmodule wissenschaftliches Seminar (5 ECTS)			
	Kernmodule Analog/Mixed Signal-Design: A (5 ECTS)	Wahlmodule fachliche Vertiefung (30 ECTS)	Forschungspraktikum (15 ECTS)	Pflichtpraktikum (5 ECTS)	Master's Thesis (30 ECTS)		

Studienplan Kernbereich „Analog/Mixed-Signal Design“

Microelectronics and Chip Design							
Kernbereich: Analog/Mixed-Signal Design							
Semester	Module					Credit Points/ Prüfungsa nzahl	
1.	CIT4430015 Analog and Mixed-Signal Circuit Design (WiSe) (Kernwahl:A) (Klausur) 5 CP	CIT443020 Microstructured Devices in Micro- and Power electronics (WiSe) (Kernwahl:A) (Klausur) 5 CP	EI70630 HW/SW Codesign (WiSe/SoSe) (Kernwahl:D) (Klausur) 5 CP	EI71059 Mixed Integer Programming and Graph Algorithms for Engineering Problems (WiSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	CIT441019 Lab Analog Chip Design (WiSe) (Wahl: Grundlagenpraktikum) (Projektarbeit) 5 CP	CIT442005 Seminar Analog Chip Design (WiSe/SoSe) (wissenschaftliche Ausarbeitung) 5 CP	30/6
2. Mobilitäts fenster	CIT443021 Analog Bipolar Electronics: Devices, Simulation and Circuits (SoSe) (Kernwahl:A) (mündliche Prüfung) 5 CP	EI70520 Circuit Design for Security (SoSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	EI71108 CMOS Analog-to-Digital Converters (SoSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	CIT443018 Phase Locked Loop / Clocked Circuits (WiSe/SoSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	CIT431015 Research Laboratory Functional Design of Integrated Analog and Mixed-Signal Circuits (SoSe) (Projektarbeit) 10 CP		30/5
3.	CIT4430001 System Design for High- Frequency and High- Data-rate Applications (WiSe) (Wahl: Vertiefung) (mündliche Prüfung) 5 CP	EI7355 Nanosystems (WiSe) (Wahl: Vertiefung) (Klausur) 5 CP	CIT4230000 Strategic IT Management (WiSe) (Wahl: außerfach) (Klausur) 4 CP	SOT86701 EuroTeQ Collider, Enhancing Connections for Sustainable Futures (WiSe/SoSe) (Wahl: außerfach) (Projektarbeit) 6 CP	CIT431018 Research Laboratory Physical Design of Integrated Analog and Mixed-Signal Circuits (WiSe) (Projektarbeit) 5 CP	CIT431013 Chip Design Test and Evaluation Course (WiSe) (Projektarbeit) 5 CP	30/6
4.	EI8950 Master's Thesis 30 CP						30/6
Legende:	Kernmodule Analog/Mixed Signal-Design: A (15 ECTS)	Wahlmodule außerfachliche Ergänzung (10 ECTS)	Wahlmodule Grundlagenpraktikum (5 ECTS)	Wahlmodule wissenschaftliches Seminar (5 ECTS)			
	Kernmodule Digital Design: D (5 ECTS)	Wahlmodule fachliche Vertiefung (30 ECTS)	Forschungspraktikum (15 ECTS)	Pflichtpraktikum (5 ECTS)	Master's Thesis (30 ECTS)		

Studieninteressierte (TUM CST)
 E-Mailadresse: Handicap@zv.tum.de
 Telefonnummer: +49 (0)89 289 22737
 dezentral: CIT ECE,

Dr. Ingrid Heiser, ingrid.heiser@tum.de,

Heike Roth, heike.roth@tum.de,

Iris Schachtner, iris.schachtner@tum.de

- **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
- **Eignungsverfahren:** zentral: Bewerbung und Immatrikulation (TUM CST)
 dezentral: CIT ECE
app-msmcd.asa@xcit.tum.de
- **Beiträge und Stipendien:** zentral: Beiträge und Stipendien (TUM CST)
 E-Mailadresse:
beitragsmanagement@zv.tum.de
 Stipendien und Semesterbeiträge
- **Zentrale Prüfungsangelegenheiten:** zentral: Zentrale Prüfungsangelegenheiten (TUM CST), Campus München
 Abschlussdokumente, Prüfungsbescheide, Studienabschlussbescheinigungen
- **Dezentrale Prüfungsverwaltung:** Studiengangkoordinatorin,
 Kamolrat Ruangkhanap, msmcd.asa@xcit.tum.de
- **Prüfungsausschuss:** Prof. Eva Weig (Vorsitzende)
 Benita Paraschoudis (Schriftführerin)
- **Qualitätsmanagement Studium und Lehre:**
 zentral: Studium und Lehre - Qualitätsmanagement (TUM CST)
www.lehren.tum.de/startseite/team-hrs/
 dezentral:
 Vice Dean of Study and Teaching
 Prof. Dr. Oliver Hayden,
vd.study_teaching@cit.tum.de
 QM-Beauftragte

Isabell Fischer, isabell.fischer@tum.de

Evaluationsbeauftragter

Danny Zumer, danny.zumer@tum.de

Koordination Modulmanagement

Nicole Fischer, modulverwaltung@ei.tum.de

8 Entwicklungen im Studiengang

Der Masterstudiengang *Microelectronics and Chip Design* startet erstmalig zum Wintersemester 2025/26.

Mit Start des Studiengangs werden die im Rahmen des QM-Systems der TUM vorgesehenen Instrumente wie geplant turnusgemäß angewendet, um den Studiengang künftig kontinuierlich in den dafür vorgesehenen QM-Zirkeln gemeinsam mit den Studierenden zu evaluieren und weiterzuentwickeln.