

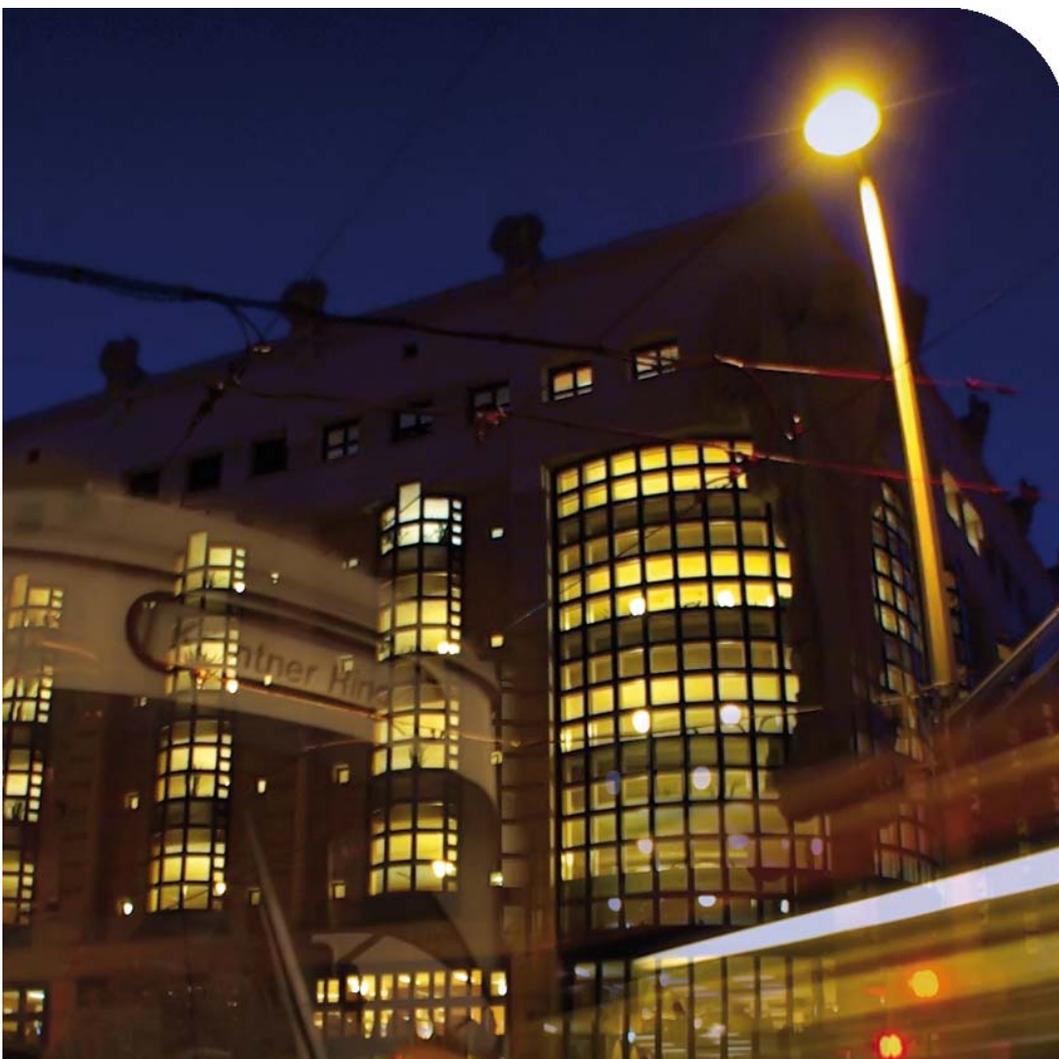
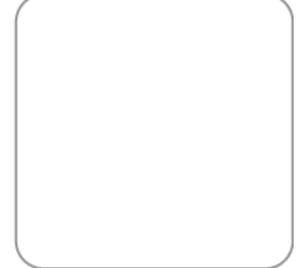
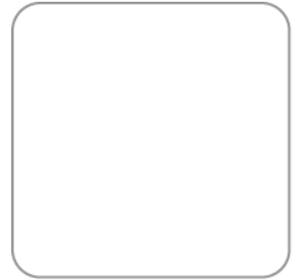


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

# Studienplan (Curriculum) für das Masterstudium Mikroelektronik und Photonik

Fakultät für  
Elektrotechnik und Informationstechnik

Version vom 24.06.2013



# Inhaltsverzeichnis

§ 1	Grundlage und Geltungsbereich	3
§ 2	Qualifikationsprofil	3
§ 3	Dauer und Umfang	4
§ 4	Zulassung zum Masterstudium	4
§ 5	Aufbau des Studiums	5
§ 6	Lehrveranstaltungen	9
§ 7	Prüfungsordnung	9
§ 8	Studierbarkeit und Mobilität	9
§ 9	Diplomarbeit	10
§ 10	Akademischer Grad	10
§ 11	Integriertes Qualitätsmanagement	10
§ 12	Inkrafttreten	11
§ 13	Übergangsbestimmungen	11
Anhang: Modulbeschreibungen		12
Anhang: Lehrveranstaltungstypen		33
Anhang: Zusammenfassung aller verpflichtenden Voraussetzungen im Studium		39
Anhang: Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen		40

## § 1 Grundlage und Geltungsbereich

Der vorliegende Studienplan definiert und regelt das ingenieurwissenschaftliche Masterstudium Mikroelektronik und Photonik an der Technischen Universität Wien. Es basiert auf dem Universitätsgesetz 2002 – UG (BGBl. I Nr. 120/2002) und den Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien in der jeweils geltenden Fassung. Die Struktur und Ausgestaltung des Studiums orientieren sich am Qualifikationsprofil gemäß §2.

## § 2 Qualifikationsprofil

Die Mikroelektronik und Photonik sind ausgewiesene Schlüsseltechnologien in den Bereichen Telekommunikation und Computertechnologie, Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt, Fahrzeugelektronik, Industrieelektronik, Unterhaltungselektronik, Biotechnologie und bestimmt zunehmend deren Wertschöpfung. Kein elektronischer und elektrotechnischer Industriezweig ist heute mehr ohne Mikroelektronik, Optoelektronik, Sensorik oder Mikrosystemtechnik vorstellbar. Das Tätigkeitsfeld der Mikroelektronik und Photonik reicht von der Physik der mikro- und nanoelektronischen Bauelemente, den optischen Bauelementen, den Werkstoffen der Mikroelektronik, den Technologien zur Herstellung von Halbleiterbauelementen, den Mikrosystemen und Nanokomponenten, den Entwurf von analogen und digitalen Schaltungen, bis hin zu konkreten Anwendungen in komplexen Systemen. Arbeitgeber sind sowohl kleine und mittelständische Unternehmen, insbesondere Komponenten- und Systemhersteller für die Zuliefer- und Ausrüsterindustrie, aber auch internationalen Halbleiter- und System- und Softwarehäuser. Für die Entwicklung dieser äußerst innovativen Unternehmen werden in den nächsten Jahren in zunehmender Anzahl hochqualifizierte Ingenieure auf den genannten Tätigkeitsfeldern benötigt.

Das Masterstudium Mikroelektronik und Photonik vermittelt auf diesen Gebieten eine breite, wissenschaftlich und methodisch hochwertige und auf dauerhaftes Wissen ausgerichtete Ausbildung, welche auf dem Bachelorstudium „Elektrotechnik und Informationstechnik“ aufbaut. Ferner verfolgt es das Ziel, die Absolventinnen und Absolventen für den internationalen Arbeitsmarkt konkurrenzfähig zu machen und zur eigenständigen wissenschaftlichen Arbeit zu befähigen.

Diese hochwertige Ausbildung bildet eine breite Basis für eine einschlägige Berufstätigkeit ohne lange Einarbeitungszeit und für eine nachhaltige berufliche Weiterentwicklung, wobei beispielhaft folgende Berufsprofile angeführt werden:

- Führung / Mitarbeit bei facheinschlägigen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben
- Führung / Mitarbeit bei applikationsnaher Umsetzung in Hard- und Softwaresystemen
- Hochwertige Tätigkeiten im Bereich der Planung, des Entwurfs, und Umsetzung komplexer industrieller mikroelektronischer Prozesse, Komponenten und Anlagen
- Führung / Mitarbeit in interdisziplinären Projekt- und Entwicklungsteams
- Eigenständige Forschungstätigkeit auf Universitäten und in der Industrie

Weiters befähigt das Masterstudium Mikroelektronik und Photonik zur Weiterqualifizierung im Rahmen von fachnahen Doktoratsstudien.

Aufgrund der beruflichen Anforderungen werden im Masterstudium Mikroelektronik und Photonik Qualifikationen hinsichtlich folgender Kategorien vermittelt:

- Fachliche und methodische Kenntnisse
- Kognitive und praktische Fertigkeiten
- Soziale Kompetenzen, Innovationskompetenz und Kreativität

### Fachliche und methodische Kompetenzen

Im Masterstudium Mikroelektronik und Photonik erlangen die Studierenden vertiefende Fachkenntnisse in ihrem Fachbereich und ein tiefgehendes Verständnis der technischen und naturwissenschaftlichen Vorgänge. Sie besitzen somit ein breites Fachwissen auf Basis der relevan-

ten, theoretischen Grundlagen und sie sind in der Lage, bestehende Erkenntnisgrenzen in Theorie und Anwendung zu analysieren und methodisch strukturiert zu erweitern. Dies setzt zwingend voraus, dass die Studierenden den letzten Stand der Technik in Bereichen Mikroelektronik, Photonik, Sensorik und der Nano- und Mikrosystemtechnik als auch die wesentlichen Normen und Standards kennen. Neben diesem Grundlagenwissen haben sie sich ein vertieftes Wissen in einem der genannten Anwendungsgebiete angeeignet, das sie als Ingenieur befähigt, den Gesamtumfang einer technischen Aufgabenstellung in ihrem Gebiet zu erfassen und eine fachlich angepasste Problemlösung trotz eines sich schnell weiterentwickelnden und sich ändernden Fachwissens zu entwerfen und umzusetzen. Diese Kombination aus technischen und mathematisch-naturwissenschaftlichen Grundlagen gepaart mit einer hohen Wissenstiefe bietet eine gute Ausgangsbasis für eine weitere berufliche Tätigkeit, aber auch für eine weiterführende Qualifikation im Rahmen eines fachnahen Doktoratsstudiengangs.

#### Kognitive und praktische Fertigkeiten

Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiums Mikroelektronik und Photonik können Aufgabenstellungen der Mikroelektronik und Photonik einschließlich angrenzender interdisziplinärer Fachgebiete wissenschaftlich analysieren, formal beschreiben und dafür geeignete Modelle entwickeln. Sie sind darin geübt, mit angemessenen Methoden unter Einbeziehung aktueller Hilfsmittel der Informationsverarbeitung und unter Berücksichtigung internationaler technischer Standards und Empfehlungen kreativ Lösungen für diese Aufgabenstellung zu erarbeiten.

Sie haben im Rahmen ihres Studiums bereits mehrere wissenschaftliche Arbeiten verfasst und verfügen so über Fertigkeiten im wissenschaftlichen Arbeiten. Darüber hinaus sind sie mit den wesentlichen mathematischen Methoden ihres Fachbereichs vertraut.

Sie sind imstande, sich die Informationen und Kenntnisse zu verschaffen, die zum Einstieg in eine neue Technik notwendig sind. Sie können neue Entwicklungen in ihr Wissensschema einordnen und sich in neue Wissensbereiche einarbeiten.

#### Soziale Kompetenzen, Innovationskompetenzen und Kreativität

Absolventinnen und Absolventen können ihre Ideen wirkungsvoll und mit zeitgemäßen Mitteln vertreten. Sie haben bereits praktische Erfahrung in der Teamarbeit und in der verantwortungsvollen Führung von Teams gesammelt.

Sie verfügen über gute Kenntnisse der englischen Sprache, um auch international tätig werden zu können.

Sie verstehen wirtschaftliche Zusammenhänge, verfügen über betriebswirtschaftliches Wissen für Projektmanagement, Produktentwicklung und -vermarktung und besitzen Kosten- und Qualitätsbewusstsein.

Sie sind in der Lage, technische Entwicklungen in ihren sozialen und ökologischen Auswirkungen abzuschätzen und für eine menschengerechte Technik einzutreten.

### **§ 3 Dauer und Umfang**

Der Arbeitsaufwand für das Masterstudium Mikroelektronik und Photonik beträgt 120 ECTS-Punkte. Dies entspricht einer vorgesehenen Studiendauer von vier Semestern als Vollzeitstudium.

ECTS-Punkte sind ein Maß für den Arbeitsaufwand der Studierenden. Ein Studienjahr umfasst 60 ECTS-Punkte.

### **§ 4 Zulassung zum Masterstudium**

Die Zulassung zu einem Masterstudium setzt den Abschluss eines fachlich in Frage kommenden Bachelorstudiums oder Fachhochschul-Bachelorstudienganges oder eines anderen gleichwertigen Studiums an einer anerkannten in- oder ausländischen postsekundären Bildungseinrichtung voraus.

Fachlich in Frage kommend ist jedenfalls das Bachelorstudium Elektrotechnik an der Technischen Universität Wien und das Bachelorstudium Elektrotechnik an der Technischen Universität

Graz.

Wenn die Gleichwertigkeit grundsätzlich gegeben ist und nur einzelne Ergänzungen auf die volle Gleichwertigkeit fehlen, können zur Erlangung der vollen Gleichwertigkeit alternative oder zusätzliche Lehrveranstaltungen und Prüfungen im Ausmaß von maximal 30 ECTS-Punkten vorgeschrieben werden, die im Laufe des Masterstudiums zu absolvieren sind. Für spezielle Studienrichtungen existieren Standardvorschreibungen, die auf der Fakultätshomepage veröffentlicht sind und bei der Studienvertretung sowie beim Studiendekan aufliegen.

Personen, deren Muttersprache nicht Deutsch ist, haben die Kenntnis der deutschen Sprache nachzuweisen. Für einen erfolgreichen Studienfortgang werden Deutschkenntnisse nach Referenzniveau B2 des Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmens für Sprachen (GER) empfohlen. Da einzelne Lehrveranstaltungen auch in englischer Sprache abgehalten werden, sei neben der Beherrschung der deutschen Sprache hier auf die Notwendigkeit von ausreichenden Englischkenntnissen, wie sie insbesondere auch im weiteren Berufsleben vonnöten sind, ausdrücklich hingewiesen.

## § 5 Aufbau des Studiums

Die Inhalte und Qualifikationen des Studiums werden durch „Module“ vermittelt. Ein Modul ist eine Lehr- und Lerneinheit, welche durch Eingangs- und Ausgangsqualifikationen, Inhalt, Lehr- und Lernformen, den Regel-Arbeitsaufwand sowie die Leistungsbeurteilung gekennzeichnet ist. Die Absolvierung von Modulen erfolgt in Form einzelner oder mehrerer inhaltlich zusammenhängender „Lehrveranstaltungen“. Die Module zuzüglich der Diplomarbeit inklusive Diplomprüfung bilden die „Prüfungsfächer“, deren Bezeichnung samt Umfang und Gesamtnote auf dem Abschlusszeugnis ausgewiesen wird.

Im Masterstudium Mikroelektronik und Photonik sind vier Pflichtmodule, zwei Vertiefungspflichtmodule und drei Wahlmodule sowie das Modul Freie Wahl und das Modul Diplomarbeit zu absolvieren.

### **Pflichtmodule:**

Technologie und Materialien	9,0 ECTS
Photonik und Quantenelektronik	9,0 ECTS
Integrierte Schaltungen	9,0 ECTS
Bauelemente und Systeme	9,0 ECTS

Die vier Pflichtmodule müssen von allen Studierenden absolviert werden.

### **Vertiefungspflichtmodule:**

Technologien und Materialien - Vertiefung	9,0 ECTS
Applied Photonics	9,0 ECTS
Quantenelektronik - Vertiefung	9,0 ECTS
Integrierte Schaltungen - Vertiefung	9,0 ECTS
Bauelemente und Systeme - Vertiefung	9,0 ECTS

Aus den fünf Vertiefungspflichtmodulen sind zwei verpflichtend zu absolvieren.

**Wahlmodule:**

Emerging Devices	9,0 ECTS
Elektrochemische Energieumwandlung und Energiespeicherung	9,0 ECTS
Coherent Optics	9,0 ECTS
Novel Optical Sources	9,0 ECTS
Mikro- und Nanosystemtechnik	9,0 ECTS
More-than-Moore ICs and Systems	9,0 ECTS
Materials and Electronics Technology	9,0 ECTS
Nanoelektronik	9,0 ECTS
Zuverlässigkeit Mikroelektronik	9,0 ECTS

Es müssen drei Wahlmodule absolviert werden, die entweder aus der oben angeführten Liste der Wahlmodule oder aus den nicht gewählten Vertiefungsmodulen stammen.

**Weitere Module:**

Freie Wahl	9,0 ECTS
Diplomarbeit	30,0 ECTS

Beide Module müssen absolviert werden. Das Modul „Freie Wahl“ setzt sich aus frei wählbaren Fächern zusammen, wobei davon zumindest 4,5 ECTS-Punkte aus dem Bereich „Fachübergreifende Lehrveranstaltungen“ (Soft Skills) zu wählen sind.

In den Modulen des Masterstudiums Mikroelektronik und Photonik werden folgende Inhalte (Stoffgebiete) vermittelt:

**Pflichtmodule:****Technologie und Materialien****9 ECTS**

Das Modul Technologie & Materialien vermittelt umfassende Kenntnisse der Technologien und Materialien, die die Basis für die moderne Nanoelektronik, Nanophotonik und Mikrosystemtechnik bilden. Die Schwerpunkte auf der Materialseite bilden Element- und Verbindungshalbleiter der Gruppen IV und III-V, sowie Oxidkeramiken. Ausgehend von deren materialwissenschaftlichen Grundlagen werden die Schlüsseltechnologien für die Herstellung von mikro- und nanoskaligen 1-, 2- und 3-dimensionalen Strukturen und Bauelementen erarbeitet.

**Photonik und Quantenelektronik****9 ECTS**

Ein Verständnis der Optoelektronik, Lasertechnik sowie der optischen Kommunikationstechnik ist für praktisch alle Bereiche der modernen Mikroelektronik und Informationstechnologie unerlässlich. Aufbauend auf einschlägiges Bachelorwissen aus Elektrodynamik, Wellenausbreitung, Signale und Systeme, Festkörperelektronik und Photonik vermittelt dieses Modul fortgeschrittene Kenntnis und Fähigkeit zur Analyse von modernen photonischen Verfahren, Technologien und Systemen.

**Integrierte Schaltungen****9 ECTS**

Die Beherrschung der analogen und digitalen integrierten Schaltungen ist für viele Fragestellungen in der Mikro- und Nanoelektronik und insbesondere für den Entwurf von ICs unerlässlich.

lich. Dieses Modul vermittelt ferner die analytischen Grundlagen zur Dimensionierung integrierter Schaltungen sowie die Methoden zu ihrer Modellierung.

### **Bauelemente und Systeme**

**9 ECTS**

Aufbauend auf den Grundvorlesungen *Halbleiterphysik* (362.069), *Elektronische Bauelemente* (362.072) und *Sensorik und Sensorsysteme* (366.071) wird ein fundiertes Wissen über die Technologie der integrierten Schaltungen, die Mikrosystemtechnik, sowie die Modellierung von Halbleiterbauelementen vermittelt. Das Modul umfasst sowohl theoretische als auch anwendungsorientierte Aspekte.

## **Vertiefungsmodule:**

### **Technologien und Materialien - Vertiefung**

**9 ECTS**

Das Modul „Technologie und Materialien – Vertiefung“ vermittelt vertiefende Kenntnisse der Technologien und der Materialien für die Schwerpunkte Nanoelektronik, Photonik und Mikrosystemtechnik. Aufbauend auf dem Modul 1, werden hier die Schwerpunkte auf spezifische Fragestellung sowohl auf der Materialseite als auch auf der Technologieseite gelegt. Im Sinne einer forschungsgeleiteten Lehre bestimmen hier die aktuellen Forschungsthemen der Lehrveranstaltungsleiter die Themen der Vertiefung.

### **Applied Photonics**

**9 ECTS**

Dieses Modul besteht aus einer 4-stündigen VU und einem 2-stündigen Vorlesung. Es umfasst eine Darstellung der Verfahren der optischen Nachrichtentechnik sowie die forschungsnah Auseinandersetzung mit fortgeschrittenen Konzepten, Verfahren und Systemen der Photonik. Bearbeitung von aktuellen Forschungsthemen der Photonik, Kennenlernen von theoretischen Methoden, Modellen und experimentellen Verfahren sowie Technologien.

### **Quantenelektronik - Vertiefung**

**9 ECTS**

Dieses Modul besteht aus zwei Vorlesungen und einer Laborübung zu je zwei Stunden. Das Wissen über die Physik von Nanostrukturen und optoelektronischen Bauelementen wird vertieft. Das Modul umfasst sowohl theoretische Aspekte - wie elektronische Zustände in Nanostrukturen und Ladungsträgertransport - als auch anwendungsorientierte Aspekte der quantenmechanischen Bauelementmodellierung und der numerischen Bauelementsimulation.

### **Integrierte Schaltungen - Vertiefung**

**9 ECTS**

Die Beherrschung des Layouts und der Verifikation analoger integrierter Schaltungen ist für den Entwurf von ICs unerlässlich. Dieses Modul vermittelt ferner die Grundlagen zum Test integrierter Schaltungen und vertieft die Kenntnisse der analogen integrierten Schaltungstechnik.

### **Bauelemente und Systeme – Vertiefung**

**9 ECTS**

Das Modul „*Bauelemente und Systeme – Vertiefung*“ umfasst 2 VUs und eine Laborübung. Aufbauend auf dem Modul 4 werden vertiefende Kenntnisse zu den physikalisch-technischen Grundlagen der Mess- und Wandlerprinzipien mikro- und nanotechnisch hergestellter Sensoren, Aktuatoren und daraus resultierender Systeme in Theorie und Praxis vermittelt. Aktuelle Forschungstendenzen auf diesen Gebieten bestimmen den Inhalt der Lehrveranstaltungen.

## **Wahlmodule:**

### **Emerging Devices**

**9 ECTS**

Auf dem Weg die Informationstechnologie weiter voran zu treiben, ist das tiefgreifende Verständnis der Funktionsweise und Technologie moderner mikroelektronischer Bauelemente der Schlüssel zur Entwicklung zukünftiger integrierter Schaltkreise. Das Modul setzt das im Bachelor-Studium vermittelte Wissen im Bereich der Mikroelektronik, Nanoelektronik, Werkstoffe, Festkörperphysik und Simulationen voraus und vermittelt tiefergehendes Wissen aus dem Be-

reich der aktuellen Mikroelektronik, Optoelektronik, sowie die zugrunde liegende Physik der Funktionsweise neuartiger Bauelemente (emerging devices) und Fertigungsprozesse.

**Elektrochemische Energieumwandlung und Energiespeicherung** **9 ECTS**

Im Modul "Elektrochemische Energieumwandlung und Energiespeicherung" werden Batterien, Brennstoffzellen, Elektrolysezellen und Superkondensatoren aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet: Aus Sicht der Elektrochemie, d.h. mit Schwerpunkt auf den physikalisch-chemischen Prozessen in den Zellen, aus messmethodischer Sicht mit starkem Bezug zur Elektrotechnik, und aus materialwissenschaftlicher Sicht mit Betonung der Materialeigenschaften und deren Verständnis.

**Coherent Optics** **9 ECTS**

Dieses Modul besteht aus 5 Vorlesungen zu je 3 ECTS, von denen 3 Veranstaltungen zu absolvieren sind. Es behandelt Grundlagen und Anwendungen kohärenter optischer Strahlung.

**Novel Optical Sources** **9 ECTS**

Dieses Modul besteht aus 5 Vorlesungen zu je 3 ECTS, von denen 3 Veranstaltungen zu absolvieren sind. Es behandelt die Vielfalt moderner kohärenter Lichtquellen.

**Mikro- und Nanosystemtechnik** **9 ECTS**

Im Modul „Mikro- und Nanosystemtechnik“ werden aktuelle Fragestellungen über neuartige Fertigungsprozesse, Bauelementekonzepte und daraus resultierende Systeme behandelt. Dies umfasst auch die Simulation von Mikrosystemen sowie Aspekte der Aufbau –und Verbindungstechnik für sensorische, aktorische und fluidische Bauelemente.

**More-than-Moore ICs and Systems** **9 ECTS**

Die Kenntnisse der Eigenschaften und der über More-Moore hinausgehenden Möglichkeiten integrierter Schaltungen und von AISCs ist für Ingenieure der Mikroelektronik und Photonik eine wichtige Ergänzung. Ferner vermittelt dieses Modul vertiefende Kenntnisse zu aktuellen Fragestellungen aus der Mikrosystemtechnik, integrierten MEMS Sensoren und Aktuatoren sowie zu integrierten optischen Sensoren inklusive der entsprechenden Schaltungstechnik.

**Materials and Electronics Technology** **9 ECTS**

Dieses Modul vermittelt Kenntnissen im Bereich der Eigenschaften, Herstellung, Charakterisierung und Verarbeitung von Materialien, die insbesondere bei Sensoren, elektronischen Bauteilen, Baugruppen und Systemen zum Einsatz kommen. Ferner werden einschlägige Technologien, die bei der Aufbau –und Verbindungstechnik zum Einsatz kommen, einschließlich wesentlicher Aspekte der Zuverlässigkeit vertiefend behandelt.

**Nanoelektronik** **9 ECTS**

Das Modul Nanoelektronik ist ein Wahlmodul des Masterstudiums Mikroelektronik und Photonik. Aufbauend auf den Bachelor-Grundvorlesungen Halbleiterphysik (362.069), Elektronische Bauelemente (362.072) und den LVAs des Moduls Technologie & Materialien im Mikroelektronik Master wird ein fundiertes Wissen über neuartige Technologien vermittelt, das sowohl zur Modellierung als auch zur Herstellung neuer Bauelemente bzw. neuer Bauelementekonzepte notwendig ist. Ferner werden ergänzend zur Vorlesung Analoge integrierte Schaltungen die aufgrund der Nanometer Hell of Physics notwendigen Änderungen der Schaltungstechnik behandelt. Das Modul umfasst sowohl theoretische als auch anwendungsorientierte Aspekte.

**Zuverlässigkeit Mikroelektronik** **9 ECTS**

Im Wahlmodul Zuverlässigkeit Mikroelektronik werden die wichtigsten Degradationsprozesse, die schlussendlich zum Ausfall einzelner Bauelemente oder gar der ganzen Schaltung führen, behandelt. Das Modul umfasst sowohl theoretische als auch anwendungsorientierte Aspekte.

**Weitere Module:**

**Freie Wahl** **9 ECTS**

Das Modul dient der Vertiefung des Faches sowie der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse,

Fähigkeiten und Kompetenzen.

### **Diplomarbeit**

Im Modul Diplomarbeit wird eine eigenständige wissenschaftliche Arbeit unter Anleitung verfasst, deren Thema im Einklang mit dem Qualifikationsprofil vom Studierenden frei gewählt werden kann, und eine kommissionelle Gesamtprüfung abgelegt.

## **§ 6 Lehrveranstaltungen**

Die Stoffgebiete der Module werden durch Lehrveranstaltungen vermittelt. Die Lehrveranstaltungen der einzelnen Module sind im Anhang in den Modulbeschreibungen spezifiziert. Lehrveranstaltungen werden durch Prüfungen im Sinne des UG beurteilt. Die Arten der Lehrveranstaltungsbeurteilungen sind in der Prüfungsordnung (§ 7) festgelegt.

Jede Änderung der Lehrveranstaltungen der Module wird in der Evidenz der Module dokumentiert und ist mit Übergangsbestimmungen zu versehen. Jede Änderung wird in den Mitteilungsblättern der Technischen Universität Wien veröffentlicht. Die aktuell gültige Evidenz der Module liegt sodann im Dekanat der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik auf.

## **§ 7 Prüfungsordnung**

Den Abschluss des Masterstudiums bildet die Diplomprüfung. Sie beinhaltet

- a. die erfolgreiche Absolvierung aller im Studienplan vorgeschriebenen Module, wobei ein Modul als positiv absolviert gilt, wenn die ihm zuzurechnenden Lehrveranstaltungen gemäß Modulbeschreibung positiv absolviert wurden,
- b. die Abfassung einer positiv beurteilten Diplomarbeit und
- c. eine kommissionelle Abschlussprüfung. Diese erfolgt mündlich vor einem Prüfungssenat gemäß § 12 und § 19 der Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien und dient der Präsentation und Verteidigung der Diplomarbeit und dem Nachweis der Beherrschung des wissenschaftlichen Umfeldes. Dabei ist vor allem auf Verständnis und Überblickswissen Bedacht zu nehmen. Die Anmeldevoraussetzungen zur kommissionellen Abschlussprüfung gemäß § 18 Abs.1 der Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien sind erfüllt, wenn die Punkte a. und b. erbracht sind.

Das Abschlusszeugnis beinhaltet

- a. die Prüfungsfächer mit ihrem jeweiligen Umfang in ECTS-Punkten und ihren Noten,
- b. das Thema der Diplomarbeit,
- c. die Note des Prüfungsfaches Diplomarbeit und
- d. eine auf den unter a) und c) angeführten Noten basierende Gesamtbeurteilung gemäß § 73 Abs. 3 UG sowie die Gesamtnote.

Die Note eines Prüfungsfaches ergibt sich durch Mittelung der Noten jener Lehrveranstaltungen, die dem Prüfungsfach über die darin enthaltenen Module zuzuordnen sind, wobei die Noten mit dem ECTS-Umfang der Lehrveranstaltungen gewichtet werden. Bei einem Nachkommateil kleiner gleich 0,5 wird abgerundet, andernfalls wird aufgerundet. Die Gesamtnote ergibt sich analog zu den Prüfungsfachnoten durch gewichtete Mittelung der Noten aller dem Studium zuzuordnenden Lehrveranstaltungen sowie der Noten der Diplomarbeit und der Abschlussprüfung.

Lehrveranstaltungen des Typs VO (Vorlesung) werden aufgrund einer abschließenden mündlichen und/oder schriftlichen Prüfung beurteilt. Alle anderen Lehrveranstaltungen besitzen immanenten Prüfungscharakter, d.h., die Beurteilung erfolgt laufend durch eine begleitende Erfolgskontrolle sowie optional durch eine zusätzliche abschließende Teilprüfung.

Der positive Erfolg von Prüfungen ist mit "sehr gut" (1), "gut" (2), "befriedigend" (3) oder "genügend" (4), der negative Erfolg ist mit "nicht genügend" (5) zu beurteilen.

## **§ 8 Studierbarkeit und Mobilität**

Studierende im Masterstudium Mikroelektronik und Photonik sollen ihr Studium mit angemess-

senem Aufwand in der dafür vorgesehenen Zeit abschließen können. Dies wird durch die Lehrvereinbarungen, die zwischen dem studienrechtlichen Organ und den Lehrveranstaltungsleitern abgeschlossen werden, umgesetzt.

Die Anerkennung von im Ausland absolvierten Studienleistungen erfolgt durch das zuständige studienrechtliche Organ. Um die Mobilität zu erleichtern stehen die in §27 Abs. 1 bis 3 der Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der TU Wien angeführten Möglichkeiten zur Verfügung. Diese Bestimmungen können in Einzelfällen auch zur Verbesserung der Studierbarkeit eingesetzt werden.

Lehrveranstaltungen für die ressourcenbedingte Teilnahmebeschränkungen gelten sind in der Beschreibung des jeweiligen Moduls entsprechend gekennzeichnet, sowie die Anzahl der verfügbaren Plätze und das Verfahren zur Vergabe dieser Plätze festgelegt. Die Lehrveranstaltungsleiterinnen und Lehrveranstaltungsleiter sind berechtigt, für ihre Lehrveranstaltungen Ausnahmen von der Teilnahmebeschränkung zuzulassen.

Bei Lehrveranstaltungen mit immanentem Prüfungscharakter (EX, UE, LU, PR, VU, SE) können Studierende, die sich als berufstätig oder mit Betreuungspflichten deklariert haben, vor Beginn der Lehrveranstaltung mit der Leiterin bzw. dem Leiter der Lehrveranstaltung eine Sonderregelung betreffend Besuch und Leistungskontrolle vereinbaren.

## § 9 Diplomarbeit

Die Diplomarbeit ist eine wissenschaftliche Arbeit, die dem Nachweis der Befähigung dient, ein wissenschaftliches Thema selbstständig inhaltlich und methodisch vertretbar zu bearbeiten. Das Prüfungsfach Diplomarbeit, bestehend aus der wissenschaftlichen Arbeit und der kommissionellen Gesamtprüfung, wird mit 30 ECTS-Punkten bewertet, wobei der kommissionellen Gesamtprüfung 3 ECTS zugemessen werden. Richtlinien zur Durchführung der Diplomarbeit und zum genauen Ablauf der kommissionellen Prüfung werden von der Studienkommission festgelegt.

Das Thema der Diplomarbeit ist von der oder dem Studierenden frei wählbar und muss im Einklang mit dem Qualifikationsprofil stehen.

## § 10 Akademischer Grad

Den Absolventinnen und Absolventen des Masterstudiums Mikroelektronik und Photonik wird der akademische Grad „Diplom-Ingenieur“/„Diplom-Ingenieurin“ – abgekürzt „Dipl.-Ing.“ oder „DI“ (international vergleichbar mit „Master of Science“) – verliehen.

## § 11 Integriertes Qualitätsmanagement

Das integrierte Qualitätsmanagement gewährleistet, dass der Studienplan des Masterstudiums Mikroelektronik und Photonik konsistent konzipiert ist, effizient abgewickelt und regelmäßig überprüft bzw. kontrolliert wird. Geeignete Maßnahmen stellen die Relevanz und Aktualität des Studienplans sowie der einzelnen Lehrveranstaltungen im Zeitablauf sicher; für deren Festlegung und Überwachung sind das Studienrechtliche Organ und die Studienkommission zuständig.

Die semesterweise Lehrveranstaltungsbeurteilung liefert, ebenso wie individuelle Rückmeldungen zum Studienbetrieb an das Studienrechtliche Organ, zumindest für die Pflichtlehrveranstaltungen ein Gesamtbild über die Abwicklung des Studienplans für alle Beteiligten. Insbesondere können somit kritische Lehrveranstaltungen identifiziert und in Abstimmung zwischen studienrechtlichem Organ, Studienkommission und Lehrveranstaltungsleiterin und -leiter geeignete Anpassungsmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden.

Die Studienkommission unterzieht den Studienplan in einem dreijährigen Zyklus einem Monitoring, unter Einbeziehung wissenschaftlicher Aspekte, Berücksichtigung externer Faktoren und Überprüfung der Arbeitsaufwände, um Verbesserungspotentiale des Studienplans zu identifizieren und die Aktualität zu gewährleisten.

Jedes Modul besitzt eine Modulverantwortliche oder einen Modulverantwortlichen. Diese Person ist für die inhaltliche Kohärenz und die Qualität der dem Modul zugeordneten Lehrveranstaltungen verantwortlich. Diese wird insbesondere durch zyklische Kontrollen, inhaltliche Feinabstimmung mit vorausgehenden und nachfolgenden Modulen sowie durch Vergleich mit analogen Lehrveranstaltungen bzw. Modulen anderer Universitäten im In- und Ausland sichergestellt.

## **§ 12 Inkrafttreten**

Dieser Studienplan tritt am 1. Oktober 2013 in Kraft.

## **§ 13 Übergangsbestimmungen**

Die Übergangsbestimmungen werden gesondert im Mitteilungsblatt verlautbart und liegen im Dekanat der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik auf.

## Anhang: Modulbeschreibungen

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<i>Technologie und Materialien</i>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li></ul> <p>Bildungsziele sind die Kenntnis der Materialien, der Schlüsselprozesse und der Technologiefamilien für die Fertigung moderner Strukturen, Komponenten und Bauelemente der Nanoelektronik, Photonik und Mikrosystemtechnik, die Kenntnis der zugrundeliegenden physikalischen, chemischen und mathematischen Eigenschaften sowie der physikalischen, chemischen und elektrischen Charakterisierungsmethodiken.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li></ul> <p>Verständnis des physikalischen, chemischen und mathematischen Hintergrundes von ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen im Bereich der Materialien und Technologien für die Nanoelektronik, Photonik und Mikrosystemtechnik, der physikalisch-chemischen Zusammenhänge bei der Prozessierung, sowie deren Bedeutung für mögliche Bauelemente-Konzepte und Bauelemente-Architekturen.</p> <p>Beherrschung der physikalischen, chemischen und mathematischen Methoden und Grundlagen der Materialwissenschaften und der zur Verfügung stehenden Technologiefamilien, die notwendig sind für die Konzeption und die Herstellung elektronischer, photonischer und sensorisch-aktuatorischer Strukturen, Komponenten und Bauelemente.</p> <p>Die Fähigkeit, eigenständig Konzepte für elektronische, photonische und sensorisch-aktuatorische Strukturen, Komponenten und Bauelemente zu entwickeln, prozesstechnisch umzusetzen und zu charakterisieren. Durch gruppenorientiertes Arbeiten und Reflexion des erworbenen Wissens wird Sozialkompetenz vermittelt</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
<p>Das Modul Technologie &amp; Materialien vermittelt umfassende Kenntnisse der Materialien, Prozesse und Technologien, die die Basis für die moderne Nanoelektronik, Nanophotonik und Mikrosystemtechnik bilden. Element- und Verbindungshalbleiter der Gruppen IV und III-V, sowie Oxidkeramiken sind die Schwerpunkte auf der Materialseite. Ausgehend von deren materialwissenschaftlichen Grundlagen werden die zugehörigen Prozesstechnologien für die Herstellung von mikro- und nanoskaligen, 1-, 2- und 3-dimensionalen Strukturen, Komponenten und Bauelementen erarbeitet. Schwerpunkte hier sind die Schlüsselprozesse Schichterzeugung inklusive MBE und ALD, Schichtstrukturierung mit Photo- und Elektronenstrahl-Lithographie sowie Ätztechniken mit HF-Plasmaprozessen, selektive Wachstumsprozesse für (quasi-) 1-, 2- dimensional Strukturen wie Nanodots und Nanowires, und in-situ und ex-situ Material- und Prozess-Charakterisierungsverfahren.</p>		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Fachliche und methodische Kenntnisse aus dem Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik oder der technischen Physik.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Verständnis für anwendungsbezogenen Fragestellungen im Spannungsfeld Mathematik, Physik, Chemie.</p>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Mündliche Prüfungen mit Rechenbeispielen und Theoriefragen. Erfolgskontrolle durch selbstständiges Erarbeiten und Präsentation von „state of the art“ Technologiepapieren von aktuellen internationalen Konferenzen. Fertigungserfahrung für die neuen Technologien durch Laborpraktika in speziell ausgestatteten Labors, wie den Reinraum des ZMNS und die Labors der Photonik und des ISAS.		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VO Materialien der Mikroelektronik, Photonik und der Mikrosystemtechnik</i>	3,0	2,0
	3,0	2,0
<i>VO Prozesstechnologien der Mikroelektronik, Photonik und der Mikrosystemtechnik</i>	3,0	2,0
<i>UE Technologie-Labor</i>		

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<i>Photonik und Quantenelektronik</i>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Festigung der quantenmechanischen Grundlagenkenntnisse und Anwendung auf optoelektronische Prozesse; Vertrautheit mit fortgeschrittenen photonischen Prozessen und Konzepten, Fähigkeit zur analytischen und numerischen Behandlung einschlägiger Problemstellungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Durch Üben gewonnene Praxis im anwendungsorientierten Einsatz des Gelernten auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen. Befähigung zum eigenständigen Erarbeiten aufbauender mathematischer und physikalischer Hilfsmittel der Ingenieurwissenschaften, insbesondere auch im Hinblick auf soziale und ökologische Aspekte.</p>		

--

Inhalte des Moduls (Syllabus)

Hilbertraum, Postulate der QM, Erwartungswerte und Operatoren, Dirac-Formalismus, harmonischer Oszillator, Leiteroperatoren, WKB-Näherung, kp-Theorie, Matrix-Formalismus, zeitabhängige Störungsrechnung, Übergangswahrscheinlichkeiten; Oszillatorstärken, optische Nichtlinearitäten, Elemente der Feldquantisierung, Korrelationen, Entanglement.

Theorie und Technologie integrierter Optik, Polarisationsoptik (Poincare-Kugel), S-Matrix Beschreibung von Interferometern, Laserdesign, 1D, 2D und 3D Festkörperoptik, Güteschaltung, Verstärkungsschaltung, Mode-locking, Femtosekundenlaser, parametrische optische Verstärker und Oszillatoren.

Quantenwell und Quantenkaskadenlaser, kohärente/Inkohärente Optik, Displays, Detektoren, Bildsensoren, kohärente Detektionsverfahren, Nano-Photonik, Terahertz-Photonik.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Grundlegende Kenntnisse aus dem Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik bzw. verwandter Studiengänge, im Speziellen werden Grundkenntnisse der Optik, Wellenausbreitung, Festkörperelektronik, Materialwissenschaft sowie der Inhalt der VO Photonik 1 erwartet.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Fähigkeit zum Verstehen fortgeschrittener wissenschaftlich-technischer Fragestellungen.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Vortrag über die theoretischen Grundlagen und grundsätzlichen Instrumente der oben genannten Kapitel sowie Illustration der Anwendung derselben an (ingenieurwissenschaftlichen) Beispielen. Schriftliche Prüfung mit Rechenbeispielen und Theoriefragen. Einüben des Gelernten durch selbstständiges Lösen von Übungsbeispielen. Leistungskontrolle durch regelmäßige Tests.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VU Photonik 2</i>	3,0	2,0
<i>VO Optische Systeme</i>	3,0	2,0
<i>VO Quantenelektronik</i>	3,0	2,0

**Modulbeschreibung (Module Descriptor)**

Name des Moduls (Name of Module):

*Integrierte Schaltungen*

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Kenntnisse der Theorie der unten genannten Themengebiete, soweit sie für den anwendungsorientierten Einsatz in der Mikro- und Nanoelektronik relevant sind. Kenntnisse über mathematische Methoden zu unten genannten Themengebieten zum Lösen von Problemstellungen speziell für die Dimensionierung und den Entwurf integrierter Schaltungen sowie zu deren Anwendung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Durch Üben gewonnene Praxis im anwendungsorientierten Einsatz des Gelernten auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen. Befähigung zur Leitung von IC-Entwicklungsprojekten und zur eigenständigen Entwicklung analoger und digitaler integrierter Schaltungen.</p> <p>Die Beherrschung der Grundlagen des methodischen Entwurfs integrierter analoger und digitaler Schaltungen zur Entwicklung von mixed-signal ICs oder analog-digitaler Systems-on-Chip ist in der Halbleiterindustrie unerlässlich. Dieses Modul vermittelt das grundlegende Wissen für den Entwurf modernster integrierter Schaltungen.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
Einführung in die Grundlagen analoger und digitaler integrierter Schaltungen, analoge integrierte Bipolar-, CMOS- und BiCMOS-Schaltungen, Methoden zur Verbesserung des Matchings, Methodik zu Entwurf und Dimensionierung analoger ICs, Simulation integrierter Schaltungen, Entwurf digitaler Schaltungen mittels VHDL und auf Registertransferebene, Methoden und Algorithmen für die Synthese digitaler Schaltungen.		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Grundlegende Kenntnisse aus den Bereichen analoge und digitale Schaltungen, Grundlagen der diskreten Schaltungstechnik, Funktion und Eigenschaften elektronischer Bauelemente, Halbleitertechnologie und Halbleiterphysik, sowie der Inhalt der VO Schaltungstechnik werden erwartet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Fähigkeit zum Verstehen schaltungstechnischer Fragestellungen und Algorithmen.</p>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Schriftliche Prüfungen mit Rechenbeispielen und Theoriefragen. Einüben des Gelernten durch selbstständiges Lösen von Übungsbeispielen bzw. Simulationsaufgaben, Tests möglich.		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
Beide VUs sind verpflichtend, sowie eine der angebotenen Laborübungen ist wahlweise zu absolvieren.		

<i>VU Analoge integrierte Schaltungen</i>	3,0	2,0
<i>VU Digitale integrierte Schaltungen</i>	3,0	2,0
<i>UE Labor Analoge integrierte Schaltungen</i>	3,0	2,0
<i>UE Labor Digitale integrierte Schaltungen</i>	3,0	2,0

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<i><b>Bauelemente und Systeme</b></i>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Die Bildungsziele sind die Technologie der integrierten Schaltungen, beginnend bei den Einzelprozessen, gefolgt von der Prozess- und Device-Architektur der verschiedenen IC-Technologiefamilien (CMOS, Bipolar, BICMOS) bis hin zum Packaging, sowie wesentlichen technologiebezogene Aspekte wie Layout, Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit. Des Weiteren wird ein tiefergehendes Verständnis der fachlichen Grundlagen im Bereich der Mikrosystemtechnik, ausgehend von ausgewählten Technologien bis hin aktuellen Bauelementekonzepten der Mikrosensorik, -aktorik und daraus resultierenden Systemen mit modernen Aufbau- und Verbindungskonzepten vermittelt. Ferner werden aktuelle Anwendungsgebiete der Mikro- und Nanosystemtechnik ausführlich vorgestellt, sowie die fachlichen Grundlagen der Modellierung und numerischen Simulation moderner Halbleiter-Bauelemente mit Anwendungsbeispielen der Halbleiterbauelementsimulation behandelt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Fundierte Kenntnisse der Technologie der integrierten Schaltungen, der Mikrosystemtechnik und der Bauelementmodellierung befähigen zum Entwurf und Verständnis von modernen komplexen Bauelementen, elektrischen Schaltungen und Mikrosystemen. Gerade der derzeit verfolgte Trend zu „Beyond Moore“, d.h. weg vom bedingungslosen Verkleinern mikroelektronischer Schaltungen (Moore’s Law), erfordert das Verständnis komplexer Schaltungen von heterogenen Bauelementen die auf einem einzelnen Chip integriert produziert werden (system-on-a-chip) bis hin zu neuen Systemarchitekturen mit sensorischen und aktorischen Funktionen. Die gebotenen Lehrinhalte befähigen zum eigenständigen Erarbeiten von einschlägigen Problemlösungen auf den angeführten Themengebieten, sowohl in der Theorie als auch in der Praxis. Durch gruppenorientiertes Arbeiten und Reflexion des erworbenen Wissens wird Sozialkompetenz vermittelt.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		

Integrierte Schaltungen: Aufbauend auf den im Bachelorstudium erworbenen Kenntnissen über den Aufbau und die Funktionsprinzipien der einzelnen Halbleiterbauelemente wird in diesem Modul die gleichzeitige Herstellung all dieser Komponenten auf einem Halbleitersubstrat, d.h. die Technologie der Prozessintegration, erarbeitet. Gegenstand sind daher alle Schlüsselprozesse der modernen Halbleiterfertigung, insbesondere Dotierung, Schichterzeugung, Struktur-erzeugung und Strukturübertragung mit den modernsten Techniken. Darauf aufbauend werden die Prozess- und die Device-Architekturen der integrierten Bauelemente bis hin zum Packaging behandelt, sowie wesentliche technologiebezogene Aspekte wie Layout, Designregelwerk, Zuverlässigkeit und Skalierbarkeit speziell ausgearbeitet. Abschließend werden die erworbenen Kenntnisse an Hand einschlägiger aktueller Publikationen überprüft.

Mikrosystemtechnik: Aufbauend auf den erworbenen Kenntnissen aus dem Bereich Mikrosensoren und Halbleiterbauelemente sollen spezifische Technologien der Mikrosystemtechnik vorgestellt und vertiefend behandelt werden. Darauf aufbauend werden moderne Konzepte zur Realisierung von mikrosensorischen/mikroaktorischen Bauelemente vermittelt und die entsprechenden Bauelementeeigenschaften ausführlich diskutiert. Die daraus resultierenden Systeme mit ihren besonderen Aufbau- und Verbindungskonzepten bzw. die Implementierung der Mikrosysteme in technische Systeme, wie das Automobil, das Flugzeug oder in moderne Kommunikationsgeräte, wie Mobiltelefone, ist ebenfalls Gegenstand der Lehrveranstaltung. Aktuelle Fragestellungen werden auch an Hand von Publikationen aus einschlägigen Fachjournals selbständig erworben.

Modellierung: Drift-Diffusions Modell, Randbedingungen, Kontakte, Grenzflächenmodelle und Heteroübergänge. Selbsterwärmungseffekte und Wärmeleitungsgleichung, thermische Randbedingungen. Modellierung der Beweglichkeit, Streuprozesse, Kanalquantisierung. Numerische Methoden: Diskretisierung partieller Differentialgleichungen (finite Differenzen- und Boxintegrations-Methode), Dämpfung und Konvergenz des Newtonverfahrens. Simulation: Stromloser Fall und kapazitive Bauelement-Eigenschaften, linearer und nichtlinearer Bereich, statische und dynamische Eigenschaften, unipolare und bipolare Bauelemente.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Grundlegende fachliche und methodische Kenntnisse aus dem Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik oder verwandter Studien, insbesondere aus den Bereichen Halbleiterphysik, elektronische Bauelemente, sowie der Sensorik und Sensorsystemen werden erwartet.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Verständnis für anwendungsbezogene Fragestellungen im Spannungsfeld Mathematik, Physik, Chemie.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Vortrag über die theoretischen Grundlagen und grundsätzlichen Instrumente der oben genannten Kapitel sowie Illustration der Anwendung derselben an (ingenieurwissenschaftlichen) Beispielen. Einüben des Gelernten durch selbstständiges Lösen von Übungsbeispielen. Leistungskontrolle durch regelmäßige Tafelleistung, Tests möglich.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VU Integrierte Bauelemente</i>	3,0	2,0

VU Mikrosystemtechnik	3,0	2,0
VU Modellierung elektronischer Bauelemente	3,0	2,0

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<i>Technologie und Materialien - Vertiefung</i>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Bildungsziele des Vertiefungsmoduls sind weitergehende Kenntnisse der Materialien, der Schlüsselprozesse und der Technologiefamilien für die Fertigung moderner Bauelemente und Komponenten der Nanoelektronik, Photonik und Mikrosystemtechnik. Leitlinie ist hier die Heranführung der Studierenden an die aktuellen Forschungsthemen auf den Gebieten der Nanoelektronik, Photonik und Mikrosystemtechnik und an deren aktuellen Fragestellungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Verständnis des physikalischen, chemischen und mathematischen Hintergrundes von aktuellen ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen und Forschungsthemen im Bereich Nanoelektronik, Photonik und Mikrosystemtechnik.</p> <p>Beherrschung der physikalischen, chemischen und mathematischen Methoden und Grundlagen der Materialwissenschaften und der Materialtechnologien, die notwendig sind um aktuelle Forschungsthemen auf diesem Gebieten zu bearbeiten, insbesondere auch im Hinblick auf soziale und ökologische Aspekte.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
<p>Das Modul „Technologie und Materialien – Vertiefung“ vermittelt vertiefende Kenntnisse der Technologien und der Materialien für die Schwerpunkte Nanoelektronik, Photonik und Mikrosystemtechnik. Aufbauend auf dem Modul 1, werden hier die Schwerpunkte auf spezifische Fragestellung sowohl auf der Materialseite als auch auf der Technologieseite gelegt. Im Sinne einer forschungsgeleiteten Lehre bestimmen hier die aktuellen Forschungsthemen der Lehrveranstaltungsleiter die Themen der Vertiefung. Im Einzelnen sind das für den Bereich Nanoelektronik die sogenannten „more Moore“ und „beyond Moore“ Technologien, im Bereich Photonik Technologien zur Herstellung neuartige Quellen und Detektoren, und im Bereich Mikrosystemtechnik robuste Bauelemente aus unkonventionellen Substrat- und Dünnschichtmaterialien für Anwendungen unter z.B. rauen Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck, aggressive Medien, etc.).</p>		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Fachliche und methodische Kenntnisse aus dem Bachelorstudium der Elektrotechnik bzw. verwandter Studien und dem Modul Technologie und Materialien.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Verständnis für anwendungsbezogenen Fragestellungen aus den aktuellen Forschungsthemen der die LVA tragenden Institute.</p>		

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Mündliche Prüfungen mit Rechenbeispielen und Theoriefragen. Erfolgskontrolle durch selbstständiges Erarbeiten und Präsentation von „state of the art“ Technologiepapieren von aktuellen internationalen Veröffentlichungen/Konferenzen.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VU Materialien, Prozesse und Technologien der Mikroelektronik</i>	3,0	2,0
<i>VU Materialien, Prozesse und Technologien der Photonik</i>	3,0	2,0
<i>VU Materialien, Prozesse und Technologien der Mikrosystemtechnik</i>	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

*Applied Photonics*

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):

9,0

ECTS

Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Vertrautheit mit fortgeschrittenen photonischen Prozessen und Konzepten, Fähigkeit zur analytischen und numerischen Behandlung einschlägiger Problemstellungen. Experimentelle Umsetzung.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Durch Üben gewonnene Praxis im anwendungsorientierten Einsatz des Gelernten auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen. Befähigung zum eigenständigen Erarbeiten aufbauender mathematischer und physikalischer Hilfsmittel der Ingenieurwissenschaften.

Inhalte des Moduls (Syllabus)

Literatursuche, numerische Analyse und Simulation, experimentelle Arbeiten eingebettet in laufenden Photonik-Forschungsbetrieb; Verfahren und Systeme der optischen Nachrichtentechnik, numerische Analyse photonischer Übertragungssysteme, nicht-klassische optische Verfahren der Informationsverarbeitung.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Kenntnisse aus dem abgeschlossenen Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik bzw. verwandter Studiengänge, Grundkenntnisse der Optik, Wellenausbreitung, Festkörperelektronik, Materialwissenschaft sowie der Inhalt der VO Photonik 1 und des Moduls Photonik und Quantenelektronik aus dem Masterstudium werden erwartet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Fähigkeit zum Verstehen fortgeschrittener wissenschaftlich-technischer Fragestellungen.</p>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Individuelle, intensive Betreuung von Kleinstgruppen (2-3 StudentInnen); Diskussion von Literatursuche-Ergebnissen, Anleitung zur Simulation und experimentelle Umsetzung von photonischen Problemlösungen. Anleitung zur Präsentations- und Publikationstechnik.		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VU Photonik-Vertiefung</i>	6,0	4,0
<i>VO Optische Nachrichtentechnik</i>	3,0	2,0

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<b><i>Quantenelektronik - Vertiefung</i></b>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	<b>9,0</b>	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Vertiefung von theoretischen Aspekten der Halbleiterphysik um die Funktionsweise moderner Halbleiterbauelemente und optoelektronischer Bauelemente besser zu verstehen und deren Entwurf zu unterstützen. Die Basis dazu bilden weiterführende Grundlagen der Quantenmechanik und Festkörperphysik. Damit kann das im Pflichtmodul erworbene Wissen vertieft und eine verfeinerte theoretische Beschreibung wichtiger Bauelemente erarbeitet werden. Der systematische Einsatz numerischer Simulationstechniken und Werkzeuge erlaubt eine weitere Vertiefung des vermittelten Wissens.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Die theoretischen Kenntnisse werden durch das gezielte Üben anwendungsorientierter Beispiele gefestigt. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Anwendbarkeit des theoretischen Wissens auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen im Zusammenhang mit den Eigenschaften moderner Bauelemente. In einer Rechenübung wird der Umgang mit dem quantenmechanischen Formalismus weiter eingeübt und analytische Lösungen für einfache quantenmechanische Systeme und Prozesse erarbeitet. Für realistische Quantensysteme hingegen werden in einer Laborübung numerische Simulationsverfahren angewendet. Auf diese Weise werden</p>		

Bandstrukturen, gebundene Zustände oder die Transporteigenschaften von Nanostrukturen berechnet, sowie der Einfluss von Entwurfsparametern auf bestimmte Zielparameter aufgezeigt. Durch gruppenorientiertes Arbeiten und Reflexion des erworbenen Wissens wird Sozialkompetenz vermittelt.

#### Inhalte des Moduls (Syllabus)

Vertiefung in die physikalischen Grundlagen der Halbleiterphysik aus der anwendungsorientierten Perspektive der Mikro- und Nanoelektronik mit Schwerpunkten in den folgenden Themengebieten: Theorie der zweidimensionalen, eindimensionalen und nulldimensionalen Elektronengase, weiterführende Konzepte der Quantenmechanik wie Vielteilchensysteme, Nichtlokalität und Verschränkung, kohärenter Transport und Nichtgleichgewichts-Greensche Funktionen, Elektron-Phonon-Wechselwirkung und weitere Streuprozesse, Elektron-Photon-Wechselwirkung, Dichtematrix und Mastergleichung, numerische Bauelementsimulation.

#### Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Erwartet werden theoretische Grundlagen der Halbleiterphysik aus der gleichnamigen Vorlesung im Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik sowie grundlegende Kenntnisse aus den Bereichen Halbleiter, elektronische Bauelemente und der Quantenmechanik. Kenntnisse des Inhalts der Vorlesungen Halbleiter, Elektronische Bauelemente sowie Quantenelektronik werden in diesem Modul jedenfalls implizit vorausgesetzt.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Fähigkeit zum Verstehen fortgeschrittener wissenschaftlich-technischer Fragestellungen auf Bachelorniveau.

#### Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

#### Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Vortrag über die theoretischen Grundlagen der oben genannten Kapitel sowie Illustration von deren Anwendung an Hand von ingenieurwissenschaftlichen Beispielen. Einüben des Gelernten in einer Rechenübung als Teil der VU, Anleitung zur Simulation von quantenelektronischen Systemen in der LU. Leistungsbeurteilung durch mündliche Prüfungen über die theoretischen Grundlagen, schriftliche Zusammenfassung der in der Simulationsübung erhaltenen Ergebnisse.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VO Halbleiterelektronik</i>	3,0	2,0
<i>VU Quantenelektronik Vertiefung</i>	3,0	2,0
<i>LU Rechenmethoden der Quantenelektronik</i>	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

**Integrierte Schaltungen - Vertiefung**

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Vertiefung der unten genannten Themengebiete, soweit sie für den anwendungsorientierten Einsatz in der Mikro- und Nanoelektronik relevant sind. Kenntnisse über EDV-gestützte Entwurfsmethoden sowie zur Verifizierung von analogen integrierten Schaltungen. Kenntnisse modernster integrierter analoger Schaltungstechnik.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Durch Üben gewonnene Praxis im anwendungsorientierten Einsatz des Gelernten auf Fragestellungen des IC-Entwurfs. Befähigung zur Leitung von IC-Entwicklungsprojekten sowie zur eigenständigen Entwicklung analoger integrierter Schaltungen und von ASICs.</p> <p>Vertiefung des methodischen Entwurfs testbarer, integrierter analoger Schaltungen. Layouterstellung und der Verifikation von IC-Entwürfen. Dieses Modul vermittelt vertiefende Fertigkeiten für den Entwurf modernster integrierter Schaltungen.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
Einführung in die Testsystematik integrierter Schaltungen, Layout analoger Schaltungsmodule, Design-Rule Check, Layout Versus Schematic, Extraktion und Postlayoutsimulation analoger ICs, moderne Schaltungstechnik analoger integrierter Bipolar-, CMOS- und BiCMOS-Schaltungen.		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Kenntnisse zu analogen integrierten Schaltungen, Funktion und Eigenschaften elektronischer Bauelemente, Halbleitertechnologie und Halbleiterphysik, zum Entwurf analoger integrierter Schaltungen sowie der Inhalt der VO Analoge integrierte Schaltungen wird erwartet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Fähigkeit zum Verstehen schaltungstechnischer Fragestellungen und Algorithmen.</p>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Mündliche Prüfungen mit Rechenbeispielen und Theoriefragen. Einüben des Gelernten durch selbstständiges Lösen von Übungsbeispielen und Entwurfsaufgaben, Tests möglich.		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
VU Schaltungstechnik Vertiefung	6,0	4,0
SE Schaltungstechnik	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):		
<b><i>Bauelemente und Systeme - Vertiefung</i></b>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Vertiefende Kenntnisse auf den Gebieten ausgewählter Herstellungsverfahren und der Mess- und Wandlerprinzipien mikro- und nanomechanischer Sensoren, Aktuatoren und Systemen. Verständnis der zugrundeliegenden physikalisch-technischen Problemstellungen und die Vermittlung spezifischer Arbeitsmethoden zur Lösung einschlägiger Fragestellungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Kenntnisse über charakteristische Einschränkungen der vermittelten Herstellungsverfahren und deren diffizilen Abhängigkeiten befähigen zum Finden besonderer Lösungsstrategien und dienen zum Verständnis über komplexe Fertigungsabläufe. Kenntnisse über die physikalisch-technischen Grenzen einzelner Mess- und Wandlerprinzipien und deren Auswirkung auf gängige Anwendungsszenarien. Befähigung zum eigenständigen Erarbeiten von einschlägigen Problemlösungen auf den angeführten Themengebieten, sowohl in der Theorie als auch in der Praxis. Durch gruppenorientiertes Arbeiten und Reflexion des erworbenen Wissens wird Sozialkompetenz vermittelt.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
<p>Einführung auf das Gebiet von mikro- und nanotechnisch hergestellten Sensoren, Aktuatoren und Systemen zur Erfassung und Umsetzung physikalischer Größen, Diskussion von ausgewählten Herstellungsverfahren, Gesamtprozesse, Vermittlung physikalisch-technischer Grundlagen von Mess- und Wandlerprinzipien für mikro- u. nanomechanische Strukturen, analytische Beschreibung von sensorischen und aktorischen Bauelementen und Extraktion von bauelemente-relevanten Parametern, Moderne Anwendungsbeispiele von sensorischen und aktorischen Bauelementen und daraus resultierenden Systemen.</p>		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Erwartet werden grundlegende Kenntnisse aus dem Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik oder verwandter Studien, insbesondere aus den Bereichen Sensorik, Technologie und entsprechender Herstellungsverfahren. Die Kenntnis des Inhalts der Vorlesungen Sensorik und Sensorsysteme wird in diesem Modul implizit vorausgesetzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Die Fähigkeit zum Verständnis aktueller Fragestellungen aus dem Bereich Mikrosensorik, Mikroaktorik und daraus resultierender Systeme.</p>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
<p>Mündliche Prüfungen über die theoretischen Grundlagen und methodischen Ansätze sowie Illustration der Anwendungen an ingenieurwissenschaftlichen Beispielen; Erarbeiten aktueller Forschungsthemen an Hand von Veröffentlichungen in einschlägigen Fachjournals und Konferenzen; Praktische Übungen zu den genannten Themengebieten.</p>		

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VU Sensorik</i>	3,0	2,0
<i>VO Aktorik</i>	3,0	2,0
<i>UE Labor Mikrosystemtechnik</i>	3,0	2,0

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<i>Emerging Devices</i>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Kennenlernen neuartiger Konzepte für mikroelektronische, nanoelektronische und optoelektronische Bauelemente, sowie Erlernen der analytischen und numerischen Analyse einschlägiger Problemstellungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Durch Üben gewonnene Praxis im anwendungsorientierten Einsatz des Gelernten auf ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen. Eigenständiges Erarbeiten aufbauender mathematischer und physikalischer Hilfsmittel der Ingenieurwissenschaften, um neue Bauelemente zu analysieren und zu designen. Durch gruppenorientiertes Arbeiten und Reflexion des erworbenen Wissens wird Sozialkompetenz vermittelt.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
Theorie und Technologie aktueller CMOS: 3D Tri-gate, SOI, Fin und nanowire FETs, single- und double gate Bauelemente, sperrschichtfreie MOSFETs; FETs mit high-mobility channels, GaN, III-Vs, Carbon Nanotubes und Graphen als neues Kanalmaterial, Spin FETs und Spin MOSFET, Spin Kommunikation, Spin Hall Effekt FETs, Landau-Zener tunnel Spin Transistor, Anti-Ferromagnetische Materialien für Spintronik-Anwendungen, Ansätze für universelle Speicher, Optoelektronische Bauelemente.		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Bachelor-Kenntnisse in den Fachgebieten der Elektrotechnik, der Mikroelektronik, Festkörperelektronik oder Physik, der Materialwissenschaften oder Prozesstechnologien.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Fähigkeit zum Verstehen fortgeschrittener wissenschaftlich-technischer Fragestellungen auf Bachelor-Niveau.</p>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Mündliches Abfragen der wichtigsten Lehrinhalte. Seminarvortrag über die theoretischen Grundlagen und grundsätzlichen Instrumente der oben genannten Kapitel sowie Illustration der Anwendung derselben an (ingenieurwissenschaftlichen) Beispielen. Individuelle, intensive Betreuung von Kleinstgruppen (2-3 StudentInnen); Diskussion von Literatursuche-Ergebnissen, Anleitung zur Simulation und Umsetzung von elektronischen Problemlösungen. Anleitung zur Präsentations- und Publikationstechnik.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VO Zukünftige Speicher und Logikelemente</i>	3,0	2,0
<i>VO Neuartige nano- und optoelektronische Bauteile</i>	3,0	2,0
<i>SE Emerging Devices</i>	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

*Elektrochemische Energieumwandlung und Energiespeicherung*

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):

9,0

ECTS

Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Das Modul vermittelt Kenntnisse des Gebiets der elektrochemischen Energieumwandlung und Energiespeicherung aus verschiedenen Blickwinkeln: i) Aus Sicht der Elektrochemie, d.h. mit Schwerpunkt auf physikalisch-chemischen Prozessen in den Zellen und deren Beschreibung, ii) aus (mess-)methodischer Sicht mit starkem Bezug zur Elektrotechnik, iii) aus materialwissenschaftlicher Sicht mit Betonung der Materialeigenschaften und deren Verständnis.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Fähigkeit zur Bewertung von Vor- und Nachteilen verschiedener elektrochemischer Energietechnologien und zur Anwendung elektrochemischer, messtechnischer und materialwissenschaftlicher Grundlagen bei der Optimierung von elektrochemischen Energieumwandlungssystemen

Inhalte des Moduls (Syllabus)

- Grundprinzipien elektrochemischer Thermodynamik und Kinetik
- Elektrochemische Energieumwandlungs- und –speicherungssysteme (Batterien, Brennstoffzellen, Elektrolysezellen, Superkondensatoren)
- Eigenschaften dieser Systeme und Erklärung dieser Eigenschaften aus den Grundprinzipien elektrochemischer Thermodynamik und Kinetik
- Charakterisierung von elektrochemischen Prozessen mit Hilfe von elektrischen/elektrochemischen Messmethoden (Voltammetrie, Impedanzspektroskopie, in-stationäre Methoden, kontrollierter Stofftransport, u.a.)
- Exemplarisches Vermitteln der Beziehungen zwischen Struktur und Aufbau von Festkörpern einerseits und Funktion bzw. Eigenschaft andererseits. Schwerpunkt: Materialien für Energieumwandlungssysteme wie Brennstoffzellen und Batterien, Gassensoren, Halbleiter, Piezokeramiken, u.a.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Grundlegende Kenntnisse zu Werkstoffen in der Elektrotechnik, physikalische Grundlagen

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Keine.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Vortrag mit Präsentation von Beispielen, Diskussion mit den Studierenden. Leistungskontrolle durch schriftliche oder mündliche Prüfung.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VO Elektrochemische Energieumwandlung und Energiespeicherung</i>	3,0	2,0
<i>VO Elektrochemische Mess- und Untersuchungsmethoden</i>	3,0	2,0
<i>VO Technologie der Funktionswerkstoffe</i>	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

***Coherent Optics***

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):

9,0

ECTS

Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Vertrautheit mit fortgeschrittenen Verfahren der kohärenten Optik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Befähigung zum eigenständigen Erarbeiten aufbauender mathematischer und physikalischer Hilfsmittel der Ingenieurwissenschaften.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
Bildgebung und –verarbeitung, nichtlineare optische Prozesse, Grundlagen der optischen Metrologie, medizinische Laseranwendungen.		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Kenntnisse aus dem abgeschlossenen Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik bzw. verwandter Studien sowie Grundkenntnisse der Optik, Wellenausbreitung, Festkörperelekttronik, Materialwissenschaft werden erwartet. Die Kenntnis des Inhalts der Vorlesung Photonik 1 sowie des Moduls Photonik und Quantenelektronik wird implizit vorausgesetzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Fähigkeit zum Verstehen fortgeschrittener wissenschaftlich-technischer Fragestellungen.</p>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Vortrag über die theoretischen Grundlagen und grundsätzlichen Instrumente der oben genannten Kapitel sowie Illustration der Anwendung derselben an (ingenieurwissenschaftlichen) Beispielen. Mündliche Prüfung.		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
Eine Auswahl von drei dieser Lehrveranstaltungen ist zu absolvieren.		
VO Fourier-Optics / Optical Image Processing	3,0	2,0
VO Nonlinear Optics	3,0	2,0
VO Optische Präzisionsmetrologie	3,0	2,0
VO Laser in der Medizintechnik	3,0	2,0
VU Progress in Quantum Electronics	3,0	2,0

<b>Modulbeschreibung (Module Descriptor)</b>
Name des Moduls (Name of Module):
<i>Novel Optical Sources</i>

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b> Vertrautheit mit innovativen kohärenten optischen Quellen.</li> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b> Befähigung zum eigenständigen Erarbeiten aufbauender mathematischer und physikalischer Hilfsmittel der Ingenieurwissenschaften.</li> </ul>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
Femtosekundenlaser, optische parametrische Oszillatoren, Terahertz-Quellen, Halbleiterlaser.		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b> Kenntnisse aus dem abgeschlossenen Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik bzw. verwandter Studien sowie Grundkenntnisse der Optik, Wellenausbreitung, Festkörperelektronik, Materialwissenschaft werden erwartet. Die Kenntnis des Inhalts der Vorlesung Photonik 1 sowie des Moduls Photonik und Quantenelektronik wird implizit vorausgesetzt.</li> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b> Fähigkeit zum Verstehen fortgeschrittener wissenschaftlich-technischer Fragestellungen.</li> </ul>		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Vortrag über die theoretischen Grundlagen und grundsätzlichen Instrumente der oben genannten Kapitel sowie Illustration der Anwendung derselben an (ingenieurwissenschaftlichen) Beispielen. Mündliche Prüfung.		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
Eine Auswahl von drei dieser Lehrveranstaltungen ist zu absolvieren.		
<i>VO THZ-Elektronik</i>	3,0	2,0
<i>VO Durchstimbare Laser</i>	3,0	2,0
<i>VO Moderne Festkörperlaser</i>	3,0	2,0
<i>VO Ultrafast Lasers</i>	3,0	2,0
<i>VO Halbleiterlaser</i>	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

*Mikro- und Nanosystemtechnik*

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):

9,0

ECTS

Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Grundlegende Kenntnisse über mikro- und nanotechnisch hergestellte sensorische und aktorische Bauelemente und die dafür notwendigen Materialien und Fertigungs- und Packagingprozesse; Vertrautheit mit den daraus resultierenden Systemen.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Fertigkeit zum Verstehen der wissenschaftlich-technisch relevanten Fragestellungen; eigenständiges Erarbeiten und Bewerten von „state of the art“ Bauelementekonzepten und Systemen an Hand der einschlägigen Fachliteratur. Durch gruppenorientiertes Arbeiten und Reflexion des erworbenen Wissens wird Sozialkompetenz vermittelt.

Inhalte des Moduls (Syllabus)

Einführung Finite Elemente Methode, eigenständige Bearbeitung von aktuellen Themen der Mikro- und Nanosystemtechnik mit Hilfe von COMSOL; Diskussion der Ergebnisse; Bewertung mittels einschlägiger Fachliteratur.

Vorstellung industrierelevanter, aktueller Themen aus dem Bereich der Mikro- und Nanosystemtechnik; Bewertung von aktuellen Bauelementekonzepten in Bezug auf verwendete Herstellungstechnologien, Bauelementverhalten und daraus abgeleiteten Systemen; Aspekte der Integration in technisch relevante Systeme.

Vorstellung aktueller Fragestellungen aus dem Bereich der Mikro- und Nanofluidik; Technologie und Einsatzgebiete von „Lab-on-Chip“ Systemen, auch in Kombination mit magnetischen Werkstoffen;

Diskussion aktueller Forschungsthemen aus dem Bereich der Mikro- und Nanosensorik an Hand einschlägiger Fachliteratur.

Diskussion aktueller Forschungsthemen aus dem Bereich der Aufbau- und Verbindungstechnik in Bezug auf mikro- und nanotechnisch hergestellten sensorischen und aktorischen Bauelementen an Hand einschlägiger Fachliteratur; Bewertung von thermischen Effekten; Aspekte der Zuverlässigkeit von Packages.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Erwartet werden grundlegende Kenntnisse aus dem Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik oder verwandter Studien, insbesondere aus den Bereichen Sensorik, Technologie und entsprechender Herstellungsverfahren. Die Kenntnis des Inhalts der Vorlesungen Sensorik, Sensorsysteme und Elektronische Bauelemente wird in diesem Modul implizit vorausgesetzt.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Die Fähigkeit zum Verständnis aktueller Fragestellungen aus dem Bereich Mikro- und Nanosystemtechnik.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Mündliche Prüfungen über die theoretischen Grundlagen und methodischen Ansätze sowie Illustration der Anwendungen an ingenieurwissenschaftlichen Beispielen; Erarbeiten aktueller Forschungsthemen an Hand von Veröffentlichungen in einschlägigen Fachjournalen und Konferenzen; Praktische Übungen zu den genannten Themengebieten.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
Eine Auswahl von drei dieser Lehrveranstaltungen ist zu absolvieren.		
<i>VU Simulation von Mikrosystemen</i>	3,0	2,0
<i>VO Mikro- und Nanosystemtechnik</i>	3,0	2,0
<i>VO Mikro- und Nanofluidik</i>	3,0	2,0
<i>SE Mikro- und Nanosensorik</i>	3,0	2,0
<i>SE Seminar Sensorik und Packaging</i>	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

*More-than-Moore ICs and Systems*

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):

9,0

ECTS

Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Vertiefung der unten genannten Themengebiete, soweit sie für den anwendungsorientierten Einsatz in der Mikroelektronik, Mikrosystemtechnik und der Photonik relevant sind. Kenntnisse zur Auswahl und Anwendung von MEMS Sensoren und Aktuatoren sowie zu optischen Empfängern. Kenntnisse zu aktuellen Technologieentwicklungen im Bereich der Mikrosystemtechnik als auch zu modernster integrierter analoger und optoelektronischer Schaltungstechnik abseits des Scalings von CMOS.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Dieses Modul vermittelt die Fertigkeiten, Fragestellungen der Auswahl von ICs und des IC-Entwurfs zu lösen. Befähigung zur Leitung von IC-Entwicklungsprojekten zu analogen integrierten Schaltungen, optischen Sensor-ICs und von MEMS ICs in Zusammenarbeit mit Design-Häusern und ASIC-Herstellern. Beherrschung der physikalisch-technischen Methoden und Grundlagen zur Bewertung von MEMS-basierten Sensoren und Aktuatoren und daraus aufgebauten Systemen. Eigenständiges Erarbeiten von Vorschlägen und Konzepten auf Basis bestehender MEMS Bauelementen und Systemen.

Vertiefende Methoden des Entwurfs von MEMS, integrierter analoger und optoelektronischer Schaltungen.

Inhalte des Moduls (Syllabus)

Einführung in die Grundlagen integrierter Fotodetektoren, integrierter optoelektronischer Sensoren, moderne Schaltungstechnik analoger und optoelektronischer integrierter Bipolar-, CMOS- und BiCMOS-Schaltungen, Schaltungen zu MEMS-Sensoren. Eigenständiges Erarbeiten des „state of the art“ an Hand von Publikationen aus einschlägigen Fachzeitschriften und Konferenzen zu aktuellen Fragestellungen im Bereich MEMS spezifischer Technologieentwicklungen, Bauelementen und Systemen sowie relevanter Auswerte- und Ansteuerschaltungen.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Erwartet werden grundlegende Kenntnisse aus dem Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik oder verwandter Studien, insbesondere Grundlagen der diskreten und analogen Schaltungstechnik, Funktion und Eigenschaften elektronischer Bauelemente, Halbleitertechnologie, Halbleiterphysik, der Sensorik und der Mikrosystemtechnik.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Fähigkeit zum Verstehen schaltungstechnischer Fragestellungen und Algorithmen. Verständnis für und Interesse an grundlagen- als auch anwendungsorientierten Fragestellungen aus dem Bereich der Mikrosystemtechnik.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Mündliche Prüfungen mit Theorie- und Verständnisfragen bzw. Beurteilung des Seminarvortrages.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
VO Optoelektronisch integrierte Schaltungen	3,0	2,0
SE Mikrosystemtechnik	3,0	2,0
SE Neue Entwicklungen der integrierteren Schaltungstechnik	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

*Materials and Electronics Technology*

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):

9,0

ECTS

Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Vermittlung von Kenntnissen über Entwurf, Herstellung, Charakterisierung und Verarbeitung von Materialien. Aufbau eines grundlegenden Verständnisses für die Technologie elektronischer Baugruppen und Systeme. Dies umschließt nass-chemische Prozesse zur Herstellung von gedruckten Schaltungen (Photolithographie, Ätztechnik und Galvanotechnik), thermisch aktivierte Prozesse (Sintervorgänge in Dickschichtpasten, Diffusionsvorgänge an Grenzflächen) zur Herstellung von Systemen in Dickschichttechnik, die Verbindungstechnik (Löten, Kleben und Mikro-

schweißen) sowie die Aufbautechnik und Bauformen elektronischer Bauelemente unter besonderer Berücksichtigung von Zuverlässigkeitsanforderungen unter den jeweiligen Einsatzbedingungen (Temperatur, Feuchte, chemische, mechanische Beanspruchungen etc.).

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Erarbeiten von Know-how über den Einsatz von Werkstoffen und Anwendung von Herstellungsverfahren zur Realisierung elektronischer Baugruppen und Systeme.

Praktika widmen sich werkstoffwissenschaftlichen Aspekten, die für die Elektrotechnik von Bedeutung sind. Schwerpunkte stellen einerseits moderne Fertigungs- und Verbindungstechnologien von Baugruppen und Sensoren und andererseits angewandte Schaltungstechnik zur Realisierung von Werkstoffprüfplätzen dar. Im Zuge von eigenständigen Projektarbeiten werden praxisorientierte Aufgabenstellungen vergeben. Diese können sowohl theoretische Untersuchungen, als auch praktische Arbeiten, wie zum Beispiel Entwurf und Realisierungen von Messaufbauten einschließlich der Anwendung der hierfür erforderlichen Technologie beinhalten.

Seminare und Rechenübungen: Erarbeiten von Kenntnissen über Charakterisierungsmethoden, ingenieurmäßiges Erarbeiten von analytischen und numerischen Lösungen von Aufgaben aus einem der genannten Gebiete.

Laborübung: Herstellung einer elektronischen Baugruppe in Dickschichttechnik bzw. in Leiterplattentechnik (Design, Druckprozess, Brennprozess, Bauelementeabgleich) sowie die Anwendung thermischer Charakterisierungs- und Qualitätssicherungsmethoden. Kennenlernen von Werkstoffeigenschaften und Erarbeiten von Erfahrungen über deren Bestimmung und gezielte Nutzung.

Durch gruppenorientiertes Arbeiten und Reflexion des erworbenen Wissens wird Sozialkompetenz vermittelt.

#### Inhalte des Moduls (Syllabus)

- Elektrochemische Grundlagen der Ätztechnik und der Galvanotechnik: Elektrolytische Dissoziation, Elektrizitätsleitung in Elektrolyten, Elektrodenreaktionen, Korrosion.
- Anwendungen im Bereich der Herstellung von gedruckten Schaltungen auf polymer-basierten Substraten in Feinleiter-Ätztechnik und der Herstellung elektronischer Baugruppen.
- Dickschichthybridtechnik und LTCC-Technologie (Low-Temperature Cofired Ceramics), für die Herstellung von Multichip-Modulen und Sensoren, Mikrostrukturierung mit Laser (Herstellung von Metallmasken, Trimmen von Bauelementen etc.).
- Verbindungstechnik: Grundbegriffe des Lötens, (Wirkung von Loten und Flussmittel), industrielle Lötverfahren, Kleben mit gefüllten und ungefüllten Polymerklebern, Drahtbondverfahren und metallkundliche Aspekte beim Drahtbonden, Alterung von Löt-, Klebe- und Drahtbondverbindungen,
- Substrate für Halbleiterchips, Chip-Montage, Bauformen elektronischer Bauelemente, THT (Through-Hole Technology, SMT (Surface Mounted Technology), CSP (Chip-Scale Package), COB (Chip On Board), EC (Embedded Components) etc.
- Bauelemente der Elektronik (passive und aktive, Photodioden, LEDs, Operationsverstärker, Sensoren), Stromversorgungen (Transformatoren, Gleichrichter, Regler), Bauelemente-Auswahl und Schaltungs-Layout.

#### Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Grundlegende physikalische Kenntnisse, Grundlagen der Elektrotechnik

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Allgemeines physikalisches und technisches Grundverständnis.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Vorlesungen, Seminare, unmittelbare Umsetzung von gewonnenen Kenntnissen in Praktika und Rechenübungen.		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
Eine Auswahl von drei dieser Lehrveranstaltungen ist zu absolvieren.		
<i>UE Werkstofftechnologie</i>	3,0	2,0
<i>SE Seminar Materials Science</i>	3,0	2,0
<i>PR Materialwissenschaftliche Aspekte</i>	3,0	2,0
<i>VU Technologie elektronischer Baugruppen</i>	3,0	2,0
<i>SE Technologie elektronischer Baugruppen</i>	3,0	2,0

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):		
<b><i>Nanoelektronik</i></b>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fachliche und methodische Kenntnisse</b></li> </ul> <p>Das Bildungsziel ist das technologische Verständnis, inwieweit neuartige, niederdimensionale Systeme zur Herstellung zukünftiger Bauelemente herstellbar und verwendbar sind. Die Limitierungen und neuesten Techniken sollen den Studierenden ein Gefühl für die Machbarkeit vermitteln. Dies betrifft die Simulation von Prozessen in der Halbleitertechnologie genauso, wie ein tieferes Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen und chemischen Vorgänge bei der Herstellung und dem Betrieb von niederdimensionalen Bauelementen und der Probleme für Schaltungen sowie entsprechender Lösungsmöglichkeiten.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Kognitive und praktische Fertigkeiten</b></li> </ul> <p>Die systematische Behandlung neuer Technologien für zukünftige Bauelemente umfasst ein Verständnis und Anwenden der Beschreibung (Modelling) und Herstellung (Processing) neuer, vor allem niederdimensionaler und nanoskopischer Strukturen, aber auch der Kombination von Materialsystemen zu hybriden Systemen. Diese Bauelementekonzepte bilden eine fundierte Basis für zukünftige Entwicklungsingenieure, da es unterschiedliche Technologien und deren Limitierungen sowie die entsprechende Schaltungstechnik den Studierenden näherbringt. Es soll eine durchgehende Verbindung zwischen der Halbleiterphysik, Halbleitertechnologie, Halbleiterbauelementen und Schaltungen hergestellt werden, insbesondere auch im Hinblick auf soziale und ökologische Aspekte. Konkrete Beispiele aus der industriellen Praxis und state-of-the-art Technologien von verschiedenen Forschungslabors bzw. der Nanometer-Schaltungstechnik werden im Rahmen der LVAs und dem verpflichtenden Seminar an die Studierenden herangeführt.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		

Halbleiter-Prozess-Modellierung: Modelling für forschungsrelevante Themen aus dem Bereich niederdimensionaler Systeme in der Nanotechnologie (Wachstum von Silizium-Nanowires - Nanotechnologie-Simulation - Zellwachstum auf einem Siliziumchip, etc.).

Nanoelektronik: Einführung in die physikalischen Eigenschaften von Halbleiterbauelementen im Nanometerbereich und in die Physik niedrigdimensionaler Elektronensysteme. Elektronische Eigenschaften von Nanostrukturen, wie z.B. Single Electron Transistoren, sub- $\mu\text{m}$  Tunneldioden oder Transistoren mit potentialmodulierter Gateregion. Zum Verständnis der Kennlinien solcher Nanostrukturen werden laterale und vertikale Transporteffekte diskutiert. Numerische Methoden zur Modellierung. Raster-Sondenmikroskopie an Nanostrukturen.

Chemie für Mikro- und Nanoelektronik: Es werden grundlegende Kenntnisse der Chemie (Verbindungsklassen, Stöchiometrische Zusammensetzung, Säuren/Basen, RedOx-Reaktionen, Thermodynamik, Reaktionskinetik, Funktionalität organischer Gruppen, Nomenklatur organ. Verbindungen) vermittelt und anhand von Beispielen aus der Mikrostrukturierung (Ätzen, Lithographie, Reinigung mit Lösungsmitteln, Dauer von Reaktionen, Mischungsverhältnisse von 2 Reaktionspartnern) in Übungsbeispielen angewandt.

Nanostrukturierung niedrigdimensionaler Systeme: Aufbauend auf der Kenntnis der Basistechnologien in der Halbleiterfertigung. Grundlagenverständnis der verschiedenen Technologien zur Nanostrukturierung von Bauelementen (elektronische und optoelektronische Bauelemente) vermittelt werden. Vorteile, Nachteile und Limitierungen der unterschiedlichen möglichen Technologien zur Herstellung niederdimensionaler Strukturen verschiedener elektronische / optoelektronischer Halbleiter-Bauelemente werden diskutiert.

Heterostrukturen für Nanoelektronik und Photonik: Herstellung von Heterostrukturen und komplexen Nanosystemen, ändert sich durch die an neue Bauelemente gestellten Anforderungen. Bauelemente werden schneller, kleiner, und smarter werden. Die neuen Anforderungen an Epitaxieverfahren, Strukturierung, Strukturübertragung, Isolierungskonzepte, Kontaktierungsmethoden und die dabei zu beachtenden Prozessabfolge wird diskutiert.

Bearbeitung kleiner Projekte zur Schaltungstechnik mit extremen Kurzkanal-MOSFETs mit Strukturgrößen um und unter 100nm: Maßnahmen zur Verstärkungserhöhung bei kleinen Early-Spannungen, Kaskadierte Verstärker, OPAMPs, Kompensationsmethoden, Komparatoren, Filter, PGAs, digitale Schaltungen für Gate-Tunnelströme.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Fachliche und methodische Kenntnisse aus einem abgeschlossenen Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik oder der technischen Physik sowie die Kenntnis des Inhalts folgender Lehrveranstaltungen:

VU Halbleiterphysik (oder eine vergleichbare LVA einer anderen Hochschule)

VU Elektronische Bauelemente (oder eine vergleichbare LVA einer anderen Hochschule)

VO Sensorik und Sensorsysteme (oder eine vergleichbare LVA einer anderen Hochschule)

VU Schaltungstechnik (oder eine vergleichbare LVA einer anderen Hochschule)

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Verständnis für anwendungsbezogene Fragestellungen im Spannungsfeld Mathematik, Physik, Chemie und Schaltungsdesign.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Vortrag über die theoretischen Grundlagen und grundsätzlichen Instrumente der oben genannten Kapitel sowie Illustration der Anwendung derselben an (ingenieurwissenschaftlichen) Bei-

spielen. Einüben des Gelernten durch selbstständiges Lösen von Übungsbeispielen. Leistungskontrolle durch regelmäßige Tafelleistung, Tests möglich. Seminarvortrag über ausgewählte Kapitel neuer Technologien oder Schaltungen.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
Aus den Lehrveranstaltungen 6. – 7. ist eine Lehrveranstaltung verpflichtend zu absolvieren.		
1. VU Halbleiter-Prozess-Modellierung	3,0	2,0
2. VU Nanoelektronik	3,0	2,0
3. VU Prozeßchemie für Mikro- und Nanoelektronik	3,0	2,0
4. VU Nanostrukturierung niedrigdimensionaler Systeme	3,0	2,0
5. VU Heterostrukturen für Nanoelektronik und Photonik	3,0	2,0
Aus den Lehrveranstaltungen 1. – 5. sind jeweils 2 Lehrveranstaltungen verpflichtend zu absolvieren	3,0	2,0
6. SE Mikro- & nanoelektronische & optische Bauelemente	3,0	2,0
7. SE Nanoelektronische Schaltungen		

## Modulbeschreibung (Module Descriptor)

Name des Moduls (Name of Module):

### Zuverlässigkeit Mikroelektronik

Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):

9,0

ECTS

Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Zu den Bildungszielen gehört die grundlegende Erkenntnis, dass in den Grundlagenfächern idealisierte Bauelemente behandelt werden. Reale Bauelemente unterscheiden sich in mehrerer Hinsicht, einerseits dadurch, dass ihre Topologien komplizierter sind (z.B. nichtplanar), die Dotierungsprofile von den erwarteten Profilen abweichen, dass auch nominell gleich hergestellte Bauelemente unterschiedlich sind (Variability) und vor allem, dass sich die elektrischen Eigenschaften dieser Bauelemente und Schaltungen im Betrieb ändern. Diese Änderungen führen in der Regel zu einer Verschlechterung der Eigenschaften bis hin zu einem kompletten Ausfall. Viele dieser Degradationsprozesse sind heute nur unzureichend verstanden, werden aber mit fortschreitender Miniaturisierung immer wichtiger. In diesem Wahlmodul werden die wichtigsten Grundlagen vermittelt, die es erlauben, den aktuellen Stand der Forschung kritisch zu hinterfragen. Ein solides Grundlagenwissen ist insofern von besonderer Bedeutung, als dass viele Degradationsphänomene derzeit noch nicht hinreichend verstanden sind.

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Die fundierten Kenntnisse, die in diesem Modul vermittelt werden, ermöglichen ein Zurechtfinden in der aktuellen Literatur und den sich ständig ändernden Modelvorstellungen. Die gebotenen Lehrinhalte befähigen zum eigenständigen Erarbeiten von einschlägigen Problemlösungen auf den angeführten Themengebieten, sowohl in der Theorie als auch in der Praxis.

Inhalte des Moduls (Syllabus)

Idealisiertes im Vergleich zum realen Bauelementverhalten, Variabilität, ideale Kristalle und Grenzflächen im Vergleich zu realen Strukturen, Defekte, Grundlagen Defektphysik, Grundlagen chemischer Reaktionen und stochastische/deterministische Beschreibungsmethoden, Interaktion Defekte/Bauelement, wichtige Degradationsphänomene (NBTI/PBTI, hot carriers, TDDB), Rauschen (RTN, 1/f).

Idealisierte und reale Bauelementstrukturen, Grundlagen Prozesssimulation, mechanische Verspannungen/Risse/Delamination, Verdrahtungsstrukturen/Vias/Through-Silicon-Vias/Solder Bumps, Durchbruch von Dielektrika (TDDB), Zerstörung von Leiterbahnen durch Elektromigration, Probleme in der 3D Integration.

Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)

- **Fachliche und methodische Kenntnisse**

Fachliche und methodische Kenntnisse aus einem abgeschlossenen Bachelorstudium Elektrotechnik und Informationstechnik oder der technischen Physik sowie solide Kenntnisse aus den Bereichen Halbleiterphysik und elektronische Bauelemente. Die Kenntnis des Inhalts der Vorlesungen Halbleiterphysik, Elektronische Bauelemente sowie Modellierung elektronischer Bauelemente wird in diesem Modul implizit vorausgesetzt..

- **Kognitive und praktische Fertigkeiten**

Verständnis für anwendungsbezogene Fragestellungen im Spannungsfeld Mathematik, Physik, Chemie.

Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)

Keine verpflichtenden Voraussetzungen.

Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)

Vortrag über die theoretischen Grundlagen und grundsätzlichen Instrumente der oben genannten Kapitel sowie Illustration der Anwendung derselben an (ingenieurwissenschaftlichen) Beispielen. Einüben des Gelernten durch selbstständiges Lösen von Übungsbeispielen. Leistungskontrolle durch regelmäßige Tafelleistung, Tests möglich. Vertiefung eines ausgewählten Themas im Rahmen eines Seminars.

Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<i>VU Mikroelektronik Zuverlässigkeit: Bauelemente</i>	3,0	2,0
<i>VU Mikroelektronik Zuverlässigkeit: Prozess</i>	3,0	2,0
<i>SE Mikroelektronik Zuverlässigkeit</i>	3,0	2,0

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<i>Diplomarbeit</i>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	30,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<p>Der oder die Studierende hat eine wissenschaftliche Arbeit verfasst, die dem Nachweis der Befähigung dient, ein wissenschaftliches Thema selbstständig inhaltlich und methodisch vertretbar zu bearbeiten.</p> <p>Der oder die Studierende beherrscht das wissenschaftliche Umfeld des Themas, das er oder sie im Rahmen der Diplomarbeit bearbeitet hat. Es wird die überzeugende Präsentation eigenständig erarbeiteter wissenschaftlicher Ergebnisse und die Verteidigung derselben erlernt.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfassen einer eigenständigen wissenschaftlichen Arbeit unter Anleitung, deren Thema im Einklang mit dem Qualifikationsprofil vom Studierenden frei gewählt werden kann</li> <li>• Ablegen einer kommissionellen Gesamtprüfung</li> </ul>		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
Abhängig vom gewählten Thema der Diplomarbeit		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Keine Verpflichtenden Voraussetzungen		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
<p>Verfassen einer selbstständigen wissenschaftlichen Arbeit unter Anleitung. Benotung der Arbeit aufgrund der inhaltlichen und methodischen Vertretbarkeit.</p> <p>Ablegung einer kommissionellen Gesamtprüfung laut dem Satzungsteil „Studienrechtliche Bestimmungen“ der Technischen Universität Wien §12.</p>		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)

Modulbeschreibung (Module Descriptor)		
Name des Moduls (Name of Module):		
<i>Freie Wahl</i>		
Regelarbeitsaufwand für das Modul (ECTS-Credits):	9,0	ECTS
Bildungsziele des Moduls (Learning Outcomes)		
<p>Die oder der Studierende wählt im Rahmen dieses Moduls nach unten angeführten Kriterien individuell Lehrveranstaltungen aus dem Bereich Elektrotechnik oder anderer Studienrichtungen.</p> <p>Das Modul dient der Vertiefung des Faches sowie der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen. Insbesondere wird empfohlen, innerhalb dieses Moduls Fremdsprachenkompetenzen zu erwerben und Lehrveranstaltungen zu Gender-relevanten Themen zu absolvieren.</p>		
Inhalte des Moduls (Syllabus)		
Abhängig vom gewählten Thema der Lehrveranstaltungen		
Erwartete Vorkenntnisse (Expected Prerequisites)		
Abhängig vom gewählten Thema der Lehrveranstaltungen		
Verpflichtende Voraussetzungen für das Modul sowie für einzelne Lehrveranstaltungen des Moduls (Obligatory Prerequisites)		
Abhängig vom gewählten Thema der Lehrveranstaltungen		
Angewandte Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung (Teaching and Learning Methods and Adequate Assessment of Performance)		
Abhängig vom gewählten Thema der Lehrveranstaltungen		
Lehrveranstaltungen des Moduls (Courses of Module)	ECTS	Semesterstunden (Course Hours)
<p>Es sind Lehrveranstaltungen im Umfang von mindestens 4,5 ECTS aus dem Katalog über „Fachübergreifende Lehrveranstaltungen“ zu wählen oder frei wählbare Lehrveranstaltungen anerkannter in- oder ausländischer postsekundärer Bildungseinrichtungen, sofern sie vom Studienrechtlichen Organ zur Vermittlung von fachübergreifenden Qualifikationen anerkannt werden, zu absolvieren.</p> <p>Der auf 9 ECTS noch fehlende Umfang an ECTS ist aus zur Vermittlung allgemeiner wissenschaftlicher Bildung geeigneter Lehrveranstaltungen anerkannter in- oder ausländischer postsekundärer Bildungseinrichtungen zu wählen.</p>		

## Anhang: Lehrveranstaltungstypen

**VO:** Vorlesungen sind Lehrveranstaltungen, in denen die Inhalte und Methoden eines Faches unter besonderer Berücksichtigung seiner spezifischen Fragestellungen, Begriffsbildungen und Lösungsansätze vorgetragen werden. Bei Vorlesungen herrscht keine Anwesenheitspflicht.

**UE:** Übungen sind Lehrveranstaltungen, in denen die Studierenden das Verständnis des Stoffes der zugehörigen Vorlesung durch Anwendung auf konkrete Aufgaben und durch Diskussion vertiefen. Entsprechende Aufgaben sind durch die Studierenden einzeln oder in Gruppenarbeit unter fachlicher Anleitung und Betreuung durch die Lehrenden (Universitätslehrerinnen und -lehrer sowie Tutorinnen und Tutoren) zu lösen. Übungen können auch mit Computerunterstützung durchgeführt werden.

**LU:** Laborübungen sind Lehrveranstaltungen, in denen Studierende in Gruppen unter Anleitung von Betreuerinnen und Betreuern experimentelle Aufgaben lösen, um den Umgang mit Geräten und Materialien sowie die experimentelle Methodik des Faches zu lernen. Die experimentellen Einrichtungen und Arbeitsplätze werden zur Verfügung gestellt.

**PR:** Projekte sind Lehrveranstaltungen, in denen das Verständnis von Teilgebieten eines Faches durch die Lösung von konkreten experimentellen, numerischen, theoretischen oder künstlerischen Aufgaben vertieft und ergänzt wird. Projekte orientieren sich an den praktisch-beruflichen oder wissenschaftlichen Zielen des Studiums und ergänzen die Berufsvorbildung bzw. wissenschaftliche Ausbildung.

**VU:** Vorlesungen mit integrierter Übung vereinen die Charakteristika der Lehrveranstaltungstypen VO und UE in einer einzigen Lehrveranstaltung.

**SE:** Seminare sind Lehrveranstaltungen, bei denen sich Studierende mit einem gestellten Thema oder Projekt auseinander setzen und dieses mit wissenschaftlichen Methoden bearbeiten, wobei eine Reflexion über die Problemlösung sowie ein wissenschaftlicher Diskurs gefordert werden.

**EX:** Exkursionen sind Lehrveranstaltungen, die außerhalb des Studienortes stattfinden. Sie dienen der Vertiefung von Lehrinhalten im jeweiligen lokalen Kontext.

## Anhang: Zusammenfassung aller verpflichtenden Voraussetzungen im Studium

Es werden keine positiv absolvierten Lehrveranstaltungen, jedoch die Beherrschung der jeweiligen Inhalte vorausgehender Lehrveranstaltungen vorausgesetzt.

## Anhang: Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen

### Beispiel für Studienplan

#### 1. Semester Masterstudium Mikroelektronik und Photonik (WS)

Pflichtmodul Technologie und Materialien (6 ECTS)

*Materialien der Mikroelektronik, Photonik und der Mikrosystemtechnik*

*Prozesstechnologien der Mikroelektronik, Photonik und der Mikrosystemtechnik*

Pflichtmodul Photonik und Quantenelektronik (6 ECTS)

*Photonik 2*

*Optische Systeme*

Pflichtmodul Integrierte Schaltungen (6 ECTS)

*Analoge integrierte Schaltungen*

*Digitale integrierte Schaltungen*

Pflichtmodul Bauelemente und Systeme (6ECTS)

*Integrierte Bauelemente*

*Mikrosystemtechnik*

Freie Wahl (4,5 ECTS)

**Summe:** 28.5 ECTS

#### 2. Semester Masterstudium Mikroelektronik und Photonik (SS)

Pflichtmodul Technologie und Materialien (3 ECTS)

*Technologie-Labor*

Pflichtmodul Photonik und Quantenelektronik (3 ECTS)

*Quantenelektronik*

Pflichtmodul Integrierte Schaltungen (3 ECTS)

*Labor Analoge integrierte Schaltungen oder Labor Digitale integrierte Schaltungen*

Pflichtmodul Bauelemente und Systeme (3ECTS)

*Modellierung elektronischer Bauelemente*

Vertiefungspflichtmodul 1 (6 ECTS)

Vertiefungspflichtmodul 2 (6 ECTS)

Wahlmodul 1 (3 ECTS)

Wahlmodul 2 (3 ECTS)

**Summe:** 30 ECTS

#### 3. Semester Mikroelektronik und Photonik (WS)

Vertiefungspflichtmodul 1 (3 ECTS)

Vertiefungspflichtmodul 2 (3 ECTS)

Wahlmodul 1 (6 ECTS)

Wahlmodul 2 (6 ECTS)

Wahlmodul 3 (9 ECTS)

Freie Wahl (4,5 ECTS)

**Summe:** 31.5 ECTS

#### 4. Semester Mikroelektronik und Photonik (SS)

Diplomarbeit (30 ECTS)