



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Bachelor

**Master**

Doktorat

Universitäts-  
lehrgang

Studienplan (Curriculum)  
für das  
Masterstudium  
Quantum Information Science and Technology  
nnn nnn

Technische Universität Wien  
Beschluss des Senats der Technischen Universität Wien  
17. Juni 2024

Gültig ab 1. Oktober 2024

# Inhaltsverzeichnis

§1 Grundlage und Geltungsbereich	3
§2 Qualifikationsprofil	3
§3 Dauer und Umfang	5
§4 Zulassung zum Masterstudium	5
§5 Aufbau des Studiums	6
§6 Lehrveranstaltungen	9
§7 Prüfungsordnung	12
§8 Studierbarkeit und Mobilität	13
§9 Diplomarbeit	14
§10 Akademischer Grad	14
§11 Qualitätsmanagement	14
§12 Inkrafttreten	15
A Modulbeschreibungen	16
B Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen	30
C Prüfungsfächer mit den zugeordneten Modulen und Lehrveranstaltungen	31

## §1 Grundlage und Geltungsbereich

Der vorliegende Studienplan definiert und regelt das natur- und ingenieurwissenschaftliche, englischsprachige Masterstudium *Quantum Information Science and Technology* an der Technischen Universität Wien. Dieses Masterstudium basiert auf dem Universitätsgesetz 2002 – UG (BGBl. I Nr. 120/2002 idgF) – und den *Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien* in der jeweils geltenden Fassung. Die Struktur und Ausgestaltung dieses Studiums orientieren sich am Qualifikationsprofil gemäß Abschnitt §2.

## §2 Qualifikationsprofil

Das Masterstudium *Quantum Information Science and Technology* vermittelt eine vertiefte, wissenschaftlich und methodisch hochwertige, auf dauerhaftes Wissen ausgerichtete Bildung, welche die Absolvent\_innen sowohl für eine Weiterqualifizierung vor allem im Rahmen eines facheinschlägigen Doktoratsstudiums als auch für eine Beschäftigung in beispielsweise folgenden Tätigkeitsbereichen befähigt und international konkurrenzfähig macht:

- Angewandte Forschung und Entwicklung in der Industrie, an außeruniversitären Forschungseinrichtungen und an Universitäten,
- Forschungsbasierte Entwicklung von innovativen quanten-basierten technologischen Lösungen und deren Umsetzung, in Eigenverantwortung und im Team.
- Interdisziplinäre Beratung, Vermittlung und Gestaltung im industriellen und im öffentlichen Bereich.
- Führung und Mitarbeit in interdisziplinären Projekt- und Entwicklungsteams

Die sich anbahnende Quanten-”Revolution” in der Informations, Mess- und Device-technologie hat zu neuen Forschungsbereichen wie Quantum Computing, Quantum Simulation und Quantum Communication geführt, um die damit verbundenen wissenschaftlichen und technologischen Fragestellungen zu untersuchen.

Das Masterstudium *Quantum Information Science and Technology* ist interdisziplinär ausgerichtet, um ein ganzheitliches Verständnis für die Quanteninformatikstechnologie zu vermitteln und darauf aufbauend dessen Entwicklung durch innovative Ansätze voranzutreiben. Die Studierenden erwerben die erforderlichen Grundkenntnisse in den Bereichen

- Quantum Physics
- Quantum Technology and Devices
- Quantum Information and Computing

und haben im Anschluß die Möglichkeit einer Schwerpunktsetzung aus einem fakultätsübergreifenden Spezialisierungskatalog. Dies ermöglicht sowohl eine Angleichung des Ausbildungsniveaus als auch eine flexible Anpassung an die Interessen und Stärken der

jeweiligen Studierenden. Um die Studierenden adäquat vorzubereiten, wird das Wissen sowohl selbstverantwortlich in Eigenregie als auch in Gruppen erarbeitet.

Die Absolvent\_innen dieses Masterstudiums verfügen über ausreichende Kenntnisse in den Grundlagenfächern und wesentliche und vertiefende Kenntnisse in den gewählten Themengebieten der Schwerpunktmodule.

Aufgrund der beruflichen Anforderungen werden im Masterstudium *Quantum Information Science and Technology* Qualifikationen hinsichtlich folgender Kategorien vermittelt.

**Fachliche und methodische Kompetenzen** Die Absolvent\_innen erlangen ein tiefgehendes Verständnis der Quantenphysik, der relevanten Technologieplattformen und der Quanteninformationswissenschaften sowie der Zusammenhänge zwischen den Teilgebieten. Sie erwerben einen hohen Grad an Kompetenz im Entwickeln und Umsetzen von theoretischen Grundlagen in experimentelle Methoden sowie in deren aktuellen technologischen Realisierungen und Technologieplattformen und können darauf abgestimmt optimale Entscheidungen für die Entwicklung von innovativen Ansätzen ableiten. Die Studierenden können sich vertiefende Methodenkompetenz und Fachwissen auf den Gebieten Quantum Computing, Quantum Simulation, Quantum Technology, Quantum Metrology, Quantum Information und Quantum Communication aneignen. Sie beherrschen die wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden und verfügen so nicht nur über eine hervorragende Ausgangsbasis für die weitere berufliche Tätigkeit, sondern auch für eine weiterführende Qualifikation im Rahmen eines fachnahen Doktoratsstudiums.

**Kognitive und praktische Kompetenzen** Sie sind in der Lage, quanteninformations-technologische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, gründlich zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln. Sie können neue Entwicklungen konzipieren, vorantreiben und Anwendungen entwickeln und die Auswirkungen solcher Entwicklungen für die Industrie, die Wissenschaft, die Gesellschaft und die Umwelt beurteilen und berücksichtigen. Sie verfügen über die Fähigkeit interdisziplinäre Probleme zu analysieren, zu evaluieren und zu gestalten.

**Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen** Sie verfügen über analytisches, methodisches, lösungs- und gestaltungsorientiertes Denken, können Entwicklungen in den interdisziplinären Bereichen von *Quantum Information Science* und *Quantum Technology* und eigenes Handeln kritisch reflektieren und tragen somit gesellschaftliche Verantwortung. Weiters können sie selbstverantwortlich und wissenschaftlich arbeiten, weisen Vermittlungs- und Teamfähigkeit auf, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation. Sie sind dazu befähigt, ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten. Sie sind auch darauf vorbereitet, ihr berufliches Profil durch weiterführende Studien in anderen Fachbereichen zu erweitern. Sie verfügen über gute Kenntnisse der englischen Sprache, um auch international tätig werden zu können.

### §3 Dauer und Umfang

Der Arbeitsaufwand für das Masterstudium *Quantum Information Science and Technology* beträgt 120 ECTS-Punkte. Dies entspricht einer vorgesehenen Studiendauer von 4 Semestern als Vollzeitstudium.

ECTS-Punkte (ECTS) sind ein Maß für den Arbeitsaufwand der Studierenden. Ein Studienjahr umfasst 60 ECTS-Punkte, wobei ein ECTS-Punkt 25 Arbeitsstunden entspricht (gemäß §54 Abs. 2 UG).

### §4 Zulassung zum Masterstudium

Die Zulassung zum Masterstudium *Quantum Information Science and Technology* setzt den Abschluss eines fachlich in Frage kommenden Bachelorstudiums oder eines anderen fachlich in Frage kommenden Studiums mindestens desselben hochschulischen Bildungsniveaus an einer anerkannten inländischen oder ausländischen postsekundären Bildungseinrichtung voraus. Ein Studium kommt fachlich in Frage, wenn Grundkenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen aus den Bereichen lineare Algebra, Analysis, Statistik sowie Programmierung vermittelt werden.

Fachlich in Frage kommend sind jedenfalls die Bachelorstudien “Technische Physik”, “Elektrotechnik und Informationstechnik”, “Informatik”, “Technische Informatik” und “Technische Mathematik” an der Technischen Universität Wien.

Zum Ausgleich wesentlicher fachlicher Unterschiede können Ergänzungsprüfungen vorgeschrieben werden, die bis zum Ende des zweiten Semesters des Masterstudiums abzulegen sind.

Die Unterrichtssprache ist Englisch. Studienbewerber\_innen, deren Erstsprache nicht Englisch ist, haben die erforderlichen Sprachkenntnisse nachzuweisen. Die Form des Nachweises ist in einer Verordnung des Rektorats festgelegt.

Unbeschadet von §27 Abs. 4 der Studienrechtliche Bestimmungen der Satzung der TU Wien entfallen für Studierende die Lehrveranstaltungen *Introduction to Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations*, *Introduction to Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms* beziehungsweise *Introduction to Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics*, wenn die Lernergebnisse bereits durch das jeweilige Bachelorstudium abgedeckt werden, welches Voraussetzung für die Zulassung zum Studium ist. Die dadurch fehlenden ECTS sind stattdessen im Rahmen der Wahlmodule *Quantum Physics*, *Quantum Technology and Devices* und *Quantum Transformation and Computing* zu absolvieren. An der TU Wien betrifft dies für das Bachelorstudium “Technische Physik” die Lehrveranstaltung *Introduction to Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations*, für das Bachelorstudium “Elektrotechnik und Informationstechnik” die Lehrveranstaltung *Introduction to Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms* und für die Bachelorstudien “Informatik” und “Technische Informatik” die Lehrveranstaltung *Introduction to Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics*. Für alle übrigen Studien hat das Studienrechtliche Organ im Rahmen der Zulassung festzulegen, welche dieser Lehrveranstaltungen

betroffen sind.

## §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 Regelarbeitsaufwand sowie die Leistungsbeurteilung gekennzeichnet ist. Die Absolvierung von Modulen erfolgt in Form einzelner oder mehrerer inhaltlich zusammenhängender *Lehrveranstaltungen*. Thematisch ähnliche Module werden zu *Prüfungsfächern* zusammengefasst, deren Bezeichnung samt Umfang und Gesamtnote auf dem Abschlusszeugnis ausgewiesen wird.

### Prüfungsfächer und zugehörige Module

Das Masterstudium *Quantum Information Science and Technology* gliedert sich in nachstehende Prüfungsfächer mit den ihnen zugeordneten Modulen. Die drei zentralen Prüfungsfächer *Quantum Physics*, *Quantum Technology and Devices* und *Quantum Information and Computing* enthalten je ein Pflichtmodul mit 10 ECTS-Punkten und darauf aufbauend ein weiterführendes Wahlpflichtmodul. In diesem müssen jeweils mindestens 6 und maximal 18 ECTS-Punkte absolviert werden, insgesamt 33 ECTS-Punkte. Entfällt eine der Lehrveranstaltungen *Introduction to Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations*, *Introduction to Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms* oder *Introduction to Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics* im Rahmen der Zulassung, sind in den Wahlpflichtmodulen mehr ECTS-Punkte, entsprechend dem Umfang der übersprungenen Lehrveranstaltung, zu absolvieren. Werden in den gewählten Bereichen insgesamt mehr als die vorgeschriebene Anzahl an ECTS-Punkten absolviert, können im Modul *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* im gleichen Ausmaß weniger ECTS-Punkte absolviert werden, jedoch sind darin mindestens 4,5 ECTS-Punkte aus dem Bereich der Transferable Skills zu absolvieren.

Zur Vorbereitung auf die Diplomarbeit ist das Prüfungsfach *Wissenschaftliches Arbeiten* zu belegen.

Das Prüfungsfach Diplomarbeit umfasst die Diplomarbeit mit Diplomprüfung.

#### Quantum Physics (16,0 - 28,0 ECTS)

Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations

Quantum Physics

#### Quantum Technology and Devices (16,0 - 28,0 ECTS)

Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms

Quantum Technology and Devices

## **Quantum Information and Computing (16,0 - 28,0 ECTS)**

Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics  
Quantum Information and Computing

## **Freie Wahlfächer und Transferable Skills (9,0 ECTS)**

Freie Wahlfächer und Transferable Skills

## **Wissenschaftliches Arbeiten (18,0 ECTS)**

Wissenschaftliches Arbeiten

## **Diplomarbeit (30,0 ECTS)**

Siehe Abschnitt 9.

## **Kurzbeschreibung der Module**

Dieser Abschnitt charakterisiert die Module des Masterstudiums *Quantum Information Science and Technology* in Kürze. Eine ausführliche Beschreibung ist in Anhang A zu finden.

**Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations (10,0 ECTS)** Dieses Modul vermittelt eine Einführung in die Grundlagen der Quantenwissenschaft. Ausgehend von Konzepten wie Quantenzustände, Superposition, Interferenz, Verschränkung, Quantenmessung und Dekohärenz wird die direkte Verbindung zwischen Quantenphysik und Information dargestellt und deren Implikationen wie z.B. die Bellschen Ungleichungen diskutiert. Weitere Themen sind eine Einführung in die Quantenoptik, Cavity QED, und Wechselwirkung von Quantensystemen, Hybridisierung bis hin zu den Konzepten der Quantenvielteilchenphysik und Quantenstatistik. Ein wichtiger Aspekt ist auch der Einfluss der Dimensionalität (1D, 2D oder 3D) auf die Struktur und das Verhalten von Quantensystemen.

**Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms (10,0 ECTS)** Dieses Modul führt die Studierenden in die physikalischen Plattformen und Techniken ein, auf denen Quantentechnologien basieren. Dies umfasst eine breite Palette von physikalischen Systemen: von einzelnen Photonen zu integrierter Photonik; von Wellenmechanik und Materiewellen zu Atomen / Ionen / Molekülen bis hin zu entarteten Vielteilchensystemen; von Farbzentren in Kristallen zu supraleitenden Schaltkreisen und halbleiterbasierten Quantenbits wie z.B. Quantendots. Ein Überblick der experimentellen Techniken und Technologien welche die Transformation von Quantenphysik in Technologie erst ermöglichen, Techniken zur Steuerung, Manipulation und Auslesung von Quantensensoren und Qubits, sowie relevante Konzepte zur Erweiterung auf Quantennetzwerke und Quantenprozessoren runden die Ausbildung in diesem Modul ab.

**Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics (10,0 ECTS)**

Dieses Modul vermittelt eine Einführung in die Grundlagen des Quantum Computing, der Komplexitätstheorie und der Algorithmik. Im Teil Quantum Computing erhalten die Studierenden einen Überblick über die Grundlagen und Techniken, die zur Programmierung von Quantencomputern benötigt werden. Dies beinhaltet eine Vorstellung und Analyse der wichtigsten Quantenalgorithmen wie beispielsweise jene von Deutsch, Deutsch und Jozsa, Simon, Grover und Shor. Variational Solver und Beispiele für Algorithmen mit klassischem und Quantenteil werden vorgestellt. Im Teil Komplexitätstheorie werden die wichtigsten Komplexitätsklassen für unterschiedliche Maschinenmodelle (nämlich deterministische, nichtdeterministische und probabilistische Turingmaschinen, sowie Quantenturingmaschinen, klassische und Quanten-Schaltkreismodelle) eingeführt. Konzepte wie Vollständigkeit und Reduktionen werden diskutiert. Im Teil Algorithmik werden grundlegende Techniken zur Problemlösung diskutiert. Darunter fallen Algorithmen auf Graphen, dynamische Programmierung (dynamic programming), Algorithmen zur Lösung von Flussproblemen und ihre Anwendungen, lineare Programmierung (LP), ganzzahlige lineare Programmierung (ILP) sowie Approximationsalgorithmen und lokale Suche.

**Quantum Physics (6,0-18,0 ECTS)** In diesem Modul erwerben die Studierenden vertiefende Kenntnisse der Quantenwissenschaft. Sie haben die Möglichkeit aus einem fakultätsübergreifenden Spezialisierungskatalog Lehrveranstaltungen aus den Bereichen Quantenoptik, Quantenthermodynamik, Quantenvielteilchenphysik, Materiewellen, Quantenmetrologie, Machine Learning, sowie vertiefende Kenntnisse in Quantenphysik, Statistischer Physik und Festkörperphysik zu belegen und dadurch individuelle Schwerpunkte zu setzen.

**Quantum Technology and Devices (6,0-18,0 ECTS)** Die Lehrveranstaltungen in diesem Modul vermitteln vertiefende Kenntnisse der verschiedenen physikalischen Plattformen und experimentellen Techniken, die die Grundlage für die Entwicklung von Quantentechnologien darstellen. Die Studierenden haben die Möglichkeit aus einem fakultätsübergreifenden Spezialisierungskatalog Lehrveranstaltungen aus den Bereichen Quantentechnologie, Quantum Devices, Qubit Implementation, Festkörperphysik, Quantenmetrologie und Sensing, Kohärente Kontrolle von Quantensystemen, Optische Systeme und Photonik, Laser, Quantenelektronik und Quantum Engineering zu belegen und dadurch individuelle Schwerpunkte zu setzen.

**Quantum Information and Computing (6,0-18,0 ECTS)** In diesem Modul erwerben die Studierenden vertiefende Kenntnisse der Quantenwissenschaft. Sie haben die Möglichkeit aus einem fakultätsübergreifenden Spezialisierungskatalog Lehrveranstaltungen aus den Bereichen Quanteninformationstheorie, Quantum Computing, Quantenalgorithmen und Komplexitätstheorie zu belegen und dadurch individuelle Schwerpunkte zu setzen.

**Freie Wahlfächer und Transferable Skills (9,0 ECTS)** Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls dienen der Vertiefung des Faches sowie der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen.



**Wissenschaftliches Arbeiten (18,0 ECTS)** Dieses Modul bietet die Auseinandersetzung mit aktuellen Forschungsfragen und dient dem Erwerb der Fertigkeiten der experimentellen bzw. theoretisch-mathematischen Praxis, die Voraussetzung für die Durchführung des Forschungsprojektes im Rahmen der Masterarbeit sind.

## §6 Lehrveranstaltungen

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

Betreffend die Möglichkeiten der Studienkommission, Module um Lehrveranstaltungen für ein Semester zu erweitern, und des Studienrechtlichen Organs, Lehrveranstaltungen individuell für einzelne Studierende Wahlmodulen zuzuordnen, wird auf § 27 des Studienrechtlichen Teils der Satzung der TU Wien verwiesen.

### Vorgaben zu Lehrveranstaltungen und Prüfungen aus dem Universitätsgesetz 2002

Vor Beginn jedes Semesters ist ein elektronisches Verzeichnis der Lehrveranstaltungen zu veröffentlichen (Titel, Name der Leiterin oder des Leiters, Art, Form inklusive Angabe des Ortes und Termine der Lehrveranstaltung). Dieses ist laufend zu aktualisieren.

Die Leiterinnen und Leiter einer Lehrveranstaltung haben, zusätzlich zum veröffentlichten Verzeichnis, vor Beginn jedes Semesters die Studierenden in geeigneter Weise über die Ziele, die Form, die Inhalte, die Termine und die Methoden ihrer Lehrveranstaltungen sowie über die Inhalte, die Form, die Methoden, die Termine, die Beurteilungskriterien und die Beurteilungsmaßstäbe der Prüfungen zu informieren.

Für Prüfungen, die in Form eines einzigen Prüfungsvorganges durchgeführt werden, sind Prüfungstermine jedenfalls drei Mal in jedem Semester (laut Satzung am Anfang, zu Mitte und am Ende) anzusetzen, wobei die Studierenden vor Beginn jedes Semesters über die Inhalte, die Form, die Methoden, die Termine, die Beurteilungskriterien und die Beurteilungsmaßstäbe der Prüfungen zu informieren sind.

Bei Prüfungen mit Mitteln der elektronischen Kommunikation ist eine ordnungsgemäße Durchführung der Prüfung zu gewährleisten, wobei zusätzlich zu den allgemeinen Regelungen zu Prüfungen folgende Mindestanforderungen einzuhalten sind:

- Bekanntgabe der Standards vor dem Beginn des Semesters, die die technischen Geräte der Studierenden erfüllen müssen, um an diesen Prüfungen teilnehmen zu können.
- Zur Gewährleistung der eigenständigen Erbringung der Prüfungsleistung durch die Studierende oder den Studierenden sind technische oder organisatorische Maßnahmen vorzusehen.

- Bei technischen Problemen, die ohne Verschulden der oder des Studierenden auftreten, ist die Prüfung abzubrechen und nicht auf die zulässige Zahl der Prüfungsantritte anzurechnen.

## Vorgaben zu Lehrveranstaltungen aus der Satzung der TU Wien

(SSB steht für Satzung der TU Wien, Studienrechtliche Bestimmungen)

- Der Umfang der Lehrveranstaltung ist in ECTS-Anrechnungspunkten und in Semesterstunden anzugeben (§ 9 SSB, Module und Lehrveranstaltungen).
- Die Abhaltung von Lehrveranstaltungen als „Blocklehrveranstaltungen“ ist nach Genehmigung durch Studiendekan\_in möglich (§ 9 SSB, Module und Lehrveranstaltungen).
- Die Abhaltung von Lehrveranstaltungen und Prüfungen in einer Fremdsprache ist nach Genehmigung durch Studiendekan\_in möglich (§ 11 SSB, Fremdsprachen).
- Lehrveranstaltungsprüfungen dienen dem Nachweis der Lernergebnisse, die durch eine einzelne LVA vermittelt wurden (§ 12 SSB, Lehrveranstaltungsprüfung).
- Die Lehrveranstaltungsprüfungen sind von dem\_der Leiter\_in der Lehrveranstaltung abzuhalten. Bei Bedarf hat das Studienrechtliche Organ eine\_n andere\_n fachlich geeignete\_n Prüfer\_in zu bestellen (§ 12 SSB, Lehrveranstaltungsprüfung).
- Jedenfalls sind für Prüfungen in Pflicht- und Wahlpflichtlehrveranstaltungen, die in einem einzigen Prüfungsakt enden, drei Prüfungstermine für den Anfang, für die Mitte und für das Ende jedes Semester anzusetzen. Diese sind mit Datum vor Beginn des Semesters bekannt zu geben (§ 15 SSB, Prüfungstermine).
- Prüfungen dürfen auch am Beginn und am Ende lehrveranstaltungsfreier Zeiten abgehalten werden (§ 15 SSB, Prüfungstermine).
- Die Prüfungstermine sind in geeigneter Weise bekannt zu machen (§ 15 SSB, Prüfungstermine).

## Beschreibung von Lehrveranstaltungstypen:

**VO:** Vorlesungen sind Lehrveranstaltungen, in denen die Inhalte und Methoden eines Faches unter besonderer Berücksichtigung seiner spezifischen Fragestellungen, Begriffsbildungen und Lösungsansätzen vorgetragen werden. Die Prüfung wird mit einem einzigen Prüfungsvorgang durchgeführt. In der Modulbeschreibung ist der Prüfungsvorgang je Lehrveranstaltung (schriftlich oder mündlich, oder schriftlich und mündlich) festzulegen. Bei Vorlesungen herrscht keine Anwesenheitspflicht, das Erreichen der Lernergebnisse muss dennoch gesichert sein.

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

**LU:** Laborübungen sind Lehrveranstaltungen, in denen Studierende einzeln oder in Gruppen unter Anleitung von Betreuer\_innen 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 am Qualifikationsprofil des Studiums und ergänzen die Berufsvorbildung bzw. wissenschaftliche Ausbildung.
- SE:** Seminare sind Lehrveranstaltungen, bei denen sich Studierende mit einem gestellten Thema oder Projekt auseinandersetzen und dieses mit wissenschaftlichen Methoden bearbeiten, wobei eine Reflexion über die Problemlösung sowie ein wissenschaftlicher Diskurs gefordert werden.
- UE:** Übungen sind Lehrveranstaltungen, in denen konkrete Aufgabenstellungen – beispielsweise rechnerisch, konstruktiv, künstlerisch oder experimentell – zu bearbeiten sind. Dabei werden unter fachlicher Anleitung oder Betreuung die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Studierenden zur Anwendung auf konkrete Aufgabenstellungen entwickelt.
- VU:** Vorlesungen mit integrierter Übung sind Lehrveranstaltungen, in denen die beiden Lehrveranstaltungstypen VO und UE in einer einzigen Lehrveranstaltung kombiniert werden. Der jeweilige Übungs- und Vorlesungsanteil darf ein Viertel des Umfangs der gesamten Lehrveranstaltungen nicht unterschreiten. Beim Lehrveranstaltungstyp VU ist der Übungsteil jedenfalls prüfungsimmanent, der Vorlesungsteil kann in einem Prüfungsakt oder prüfungsimmanent geprüft werden. Unzulässig ist es daher, den Übungsteil und den Vorlesungsteil gemeinsam in einem einzigen Prüfungsvorgang zu prüfen.

## **Beschreibung der Lehrveranstaltungen und Prüfungen im Informationssystem zu Studien und Lehre:**

- Typ der Lehrveranstaltung (VO, EX, LU, PR, SE, UE, VU)
- Form (Präsenz, Online, Hybrid, Blended)
- Termine (Angabe der Termine, gegebenenfalls auch die für die positive Absolvierung erforderliche Anwesenheit)
- Inhalte (Beschreibung der Inhalte, Vorkenntnisse)
- Literaturangaben
- Lernergebnisse (Umfassende Beschreibung der Lernergebnisse)
- Methoden (Beschreibung der Methoden in Abstimmung mit Lernergebnissen und Leistungsnachweis)
- Leistungsnachweis (in Abstimmung mit Lernergebnissen und Methoden)
  - Ausweis der Teilleistungen, inklusive Kennzeichnung, welche Teilleistungen wiederholbar sind. Bei Typ VO entfällt dieser Punkt.

- Prüfungen:
  - Inhalte (Beschreibung der Inhalte, Literaturangaben)
  - Form (Präsenz, Online)
  - Prüfungsart bzw. Modus
    - \* Typ VO: schriftlich oder mündlich, oder schriftlich und mündlich;
    - \* bei allen anderen Typen: Ausweis der Teilleistungen inklusive Art und Modus beziehend auf die in der Lehrveranstaltung angestrebten Lernergebnisse.
  - Termine (Angabe der Termine)
  - Beurteilungskriterien und Beurteilungsmaßstäbe

## §7 Prüfungsordnung

Der positive Abschluss des Masterstudiums erfordert:

1. die positive Absolvierung der im Studienplan vorgeschriebenen Module, wobei ein Modul als positiv absolviert gilt, wenn die ihm gemäß Modulbeschreibung zuzurechnenden Lehrveranstaltungen positiv absolviert wurden,
2. die Abfassung einer positiv beurteilten Diplomarbeit und
3. die positive Absolvierung der kommissionellen Abschlussprüfung. Diese erfolgt mündlich vor einem Prüfungssenat gemäß § 13 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 § 17 (1) der *Studienrechtlichen Bestimmungen der Satzung der Technischen Universität Wien* sind erfüllt, wenn die Punkte 1 und 2 erbracht sind.

Das Abschlusszeugnis beinhaltet

- (a) die Prüfungsfächer mit ihrem jeweiligen Umfang in ECTS-Punkten und ihren Noten,
- (b) das Thema und die Note der Diplomarbeit,
- (c) die Note der kommissionellen Abschlussprüfung,
- (d) die Gesamtbeurteilung sowie
- (e) auf Antrag des\_der Studierenden die Gesamtnote des absolvierten Studiums gemäß §72a UG.

Die Note des Prüfungsfaches „Diplomarbeit“ ergibt sich aus der Note der Diplomarbeit. Die Note jedes anderen 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. Wenn keines der Prüfungsfächer schlechter als mit „gut“ und mindestens die Hälfte mit „sehr gut“ benotet wurde, so lautet die *Gesamtbeurteilung* „mit Auszeichnung bestanden“ und ansonsten „bestanden“.

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.

Zusätzlich können zur Erhöhung der Studierbarkeit Gesamtprüfungen zu Lehrveranstaltungen mit immanentem Prüfungscharakter angeboten werden, wobei diese wie ein Prüfungstermin für eine Vorlesung abgehalten werden müssen und § 15 (6) des *Studienrechtlichen Teils der Satzung der Technischen Universität Wien* hier nicht anwendbar ist.

Der positive Erfolg von Prüfungen und wissenschaftlichen sowie künstlerischen Arbeiten ist mit „sehr gut“ (1), „gut“ (2), „befriedigend“ (3) oder „genügend“ (4), der negative Erfolg ist mit „nicht genügend“ (5) zu beurteilen. Bei Lehrveranstaltungen, bei denen eine Beurteilung in der oben genannten Form nicht möglich ist, werden diese durch „mit Erfolg teilgenommen“ (E) bzw. „ohne Erfolg teilgenommen“ (O) beurteilt.

Die Beurteilung der Lehrveranstaltungen

- 3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations
- 3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms
- 3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithms

erfolgt bei positivem Erfolg durch „mit Erfolg teilgenommen“, andernfalls durch „ohne Erfolg teilgenommen“; sie bleibt bei der Berechnung der gemittelten Note des jeweiligen Prüfungsfaches unberücksichtigt.

Wählen Studierende in den Modulen „Freie Wahlfächer“ Lehrveranstaltungen, welche mit „mit Erfolg teilgenommen“ beurteilt worden sind, dann geht diese Beurteilung in die oben genannten Mittelungen für die Benotung der entsprechenden Prüfungsfächer sowie Gesamtnote nicht ein.

## §8 Studierbarkeit und Mobilität

Studierende des Masterstudiums *Quantum Information Science and Technology* sollen ihr Studium mit angemessenem Aufwand in der dafür vorgesehenen Zeit abschließen können.

Den Studierenden wird empfohlen, ihr Studium nach dem Semestervorschlag in Anhang B zu absolvieren.

Die Anerkennung von im Ausland absolvierten Studienleistungen erfolgt durch das zuständige studienrechtliche Organ. Zur Erleichterung der Mobilität stehen die in § 27 Abs. 1 bis 3 der *Studienrechtlichen Bestimmungen* der Satzung der Technischen Universität Wien angeführten Möglichkeiten zur Verfügung. Diese Bestimmungen können in Einzelfällen auch zur Verbesserung der Studierbarkeit eingesetzt werden. Das Modul *Freie Wahlfächer und Transferable Skills* soll die Mobilität der Studierenden erleichtern/unterstützen.

Eine Lehrveranstaltung aus den Pflicht- und gewählten Wahlmodulen ist nur zu absolvieren, wenn nicht schon eine äquivalente Lehrveranstaltung in dem der Zulassung zum Masterstudium zu Grunde liegenden Studium absolviert wurde; ansonsten sind an ihrer Stelle eine oder mehrere beliebige Lehrveranstaltungen aus Modulen beliebiger Schlüsselbereiche des Masterstudiums im selben ECTS-Punkteumfang zu absolvieren, die dann bezüglich Prüfungsfachzuordnung und Klauseln die Rolle der solcherart ersetzten Lehrveranstaltung einnehmen. Die Äquivalenzfeststellung obliegt dem Studienrechtlichen Organ.

Lehrveranstaltungen, die bereits vor Beginn des Masterstudiums absolviert wurden, aber nicht zur Erreichung jenes Studienabschlusses notwendig waren, auf dem das Masterstudium aufbaut, sind gemäß § 78 UG für Lehrveranstaltungen des Masterstudiums anzuerkennen.

## §9 Diplomarbeit

Die Diplomarbeit ist eine künstlerisch-wissenschaftliche Arbeit, die dem Nachweis der Befähigung dient, ein Thema selbstständig inhaltlich und methodisch vertretbar zu bearbeiten. Das Thema der Diplomarbeit ist von der oder dem Studierenden frei wählbar und muss im Einklang mit dem Qualifikationsprofil stehen.

Das Prüfungsfach *Diplomarbeit* umfasst 30 ECTS-Punkte und besteht aus der wissenschaftlichen Arbeit (Diplomarbeit), die mit 27 ECTS-Punkten bewertet wird, sowie aus der kommissionellen Abschlussprüfung im Ausmaß von 3 ECTS-Punkten.

## §10 Akademischer Grad

Den Absolvent\_innen des Masterstudiums *Quantum Information Science and Technology* wird der akademische Grad „Master of Science“ – abgekürzt „MSc“ – verliehen.

## §11 Qualitätsmanagement

Das Qualitätsmanagement des Masterstudiums *Quantum Information Science and Technology* gewährleistet, dass das Studium in Bezug auf die studienbezogenen Qualitätsziele

der TU Wien konsistent konzipiert ist und effizient und effektiv abgewickelt sowie regelmäßig überprüft wird. Das Qualitätsmanagement des Studiums erfolgt entsprechend des Plan-Do-Check-Act Modells nach standardisierten Prozessen und ist zielgruppenorientiert gestaltet. Die Zielgruppen des Qualitätsmanagements sind universitätsintern die Studierenden und die Lehrenden sowie extern die Gesellschaft, die Wirtschaft und die Verwaltung, einschließlich des Arbeitsmarktes für die Studienabgänger\_innen.

In Anbetracht der definierten Zielgruppen werden sechs Ziele für die Qualität der Studien an der TU Wien festgelegt: (1) In Hinblick auf die Qualität und auf die Aktualität des Studienplans ist die Relevanz des Qualifikationsprofils für die Gesellschaft und den Arbeitsmarkt gewährleistet. In Hinblick auf die Qualität der inhaltlichen Umsetzung des Studienplans sind (2) die Lernergebnisse in den Modulen des Studienplans geeignet gestaltet um das Qualifikationsprofil umzusetzen, (3) die Lernaktivitäten und -methoden geeignet gewählt, um die Lernergebnisse zu erreichen, und (4) die Leistungsnachweise geeignet, um die Erreichung der Lernergebnisse zu überprüfen. (5) In Hinblick auf die Studierbarkeit der Studienpläne sind die Rahmenbedingungen gegeben, um diese zu gewährleisten. (6) In Hinblick auf die Lehrbarkeit verfügt das Lehrpersonal über fachliche und zeitliche Ressourcen um qualitätsvolle Lehre zu gewährleisten.

Um die Qualität der Studien zu gewährleisten, werden der Fortschritt bei Planung, Entwicklung und Sicherung aller sechs Qualitätsziele getrennt erhoben und publiziert. Die Qualitätssicherung überprüft die Erreichung der sechs Qualitätsziele. Zur Messung des ersten und zweiten Qualitätszieles wird von der Studienkommission zumindest einmal pro Funktionsperiode eine Überprüfung des Qualifikationsprofils und der Modulbeschreibungen vorgenommen. Zur Überprüfung der Qualitätsziele zwei bis fünf liefert die laufende Bewertung durch Studierende, ebenso wie individuelle Rückmeldungen zum Studienbetrieb an das Studienrechtliche Organ, laufend ein Gesamtbild über die Abwicklung des Studienplans. Die laufende Überprüfung dient auch der Identifikation kritischer Lehrveranstaltungen, für welche in Abstimmung zwischen Studienrechtlichem Organ, Studienkommission und Lehrveranstaltungsleiter\_innen geeignete Anpassungsmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt werden. Das sechste Qualitätsziel wird durch qualitätssichernde Instrumente im Personalbereich abgedeckt. Zusätzlich zur internen Qualitätssicherung wird alle sieben Jahre eine externe Evaluierung der Studien vorgenommen.

## **§12 Inkrafttreten**

Dieser Studienplan tritt mit 1. Oktober 2024 in Kraft.

# A Modulbeschreibungen

Die den Modulen zugeordneten Lehrveranstaltungen werden in folgender Form angeführt:

9,9/9,9 XX Titel der Lehrveranstaltung

Dabei bezeichnet die erste Zahl den Umfang der Lehrveranstaltung in ECTS-Punkten und die zweite ihren Umfang in Semesterstunden. ECTS-Punkte sind ein Maß für den Arbeitsaufwand der Studierenden, wobei ein Studienjahr 60 ECTS-Punkte umfasst und ein ECTS-Punkt 25 Stunden zu je 60 Minuten entspricht. Eine Semesterstunde entspricht so vielen Unterrichtseinheiten wie das Semester Unterrichtswochen umfasst. Eine Unterrichtseinheit dauert 45 Minuten. Der Typ der Lehrveranstaltung (XX) ist im §6 unter *Lehrveranstaltungstypen* auf Seite 10 im Detail erläutert.

## Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations

**Regelarbeitsaufwand:** 10,0 ECTS

### Lernergebnisse:

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach erfolgreicher Absolvierung des Moduls sind Studierende in der Lage (1) die Grundlagen der Quantenphysik zu formulieren und zu erklären; (2) die Konzepte, die den Anwendungen der Quanteninformationstheorie zu Grunde liegen, zu beschreiben und zu analysieren; (3) die relevanten quantenmechanische Berechnungen durchzuführen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls verfügen Studierende über (1) Lösungskompetenz für Problemstellungen aus der Quantenphysik. (2) Sie sind in der Lage, quantenphysikalische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (3) können die Anwendbarkeit von fundamentaler Quantenphysik in Quantentechnologien im breitesten Sinn einschätzen und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der theoretischen Grundlagen der Quantenphysik zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den theoretischen Grundlagen der Quantenphysik und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

### Inhalt:

- Fundamentals of quantum science: Superposition, interference, no cloning
- Fundamental concepts and basic formalism
- Entanglement



- Quantum measurement
- Bell's inequalities
- Introduction to quantum optics
- Cavity QED
- Coupled two-level system
- Interacting quantum systems and introduction to quantum many-body physics
- 1D physics
- 2D physics

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Mathematische Grundlagen aus dem der Zulassung zum Masterstudium zu Grunde liegenden Studium und grundlegende Programmierkenntnisse (z.B. Python).

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungsübung (VU) ist interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Forschung und deren Umsetzung in Technologien weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt laufend anhand von Übungs- und Projektaufgaben, und in abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations

7,0/4,0 VU Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations

**Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms**

**Regelarbeitsaufwand:** 10,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls haben die Studierenden einen Überblick über die physikalischen Konzepte und Grundlagen und Techniken, auf denen die Entwicklung von Quantentechnologien beruht. Sie können diese erläutern, analysieren, evaluieren und in ihren Vor- und Nachteilen bewerten.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls verfügen Studierende über (1) Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus den experimentellen Techniken für Quantentechnologien und können die Möglichkeiten der verschiedenen Plattformen für konkrete Anwendungen einschätzen; (2) sind sie in der Lage, quantentechnologische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren, geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln und diese praktisch auszuwerten und zu evaluieren; (3) können neue technologische Entwicklungen konzipieren und vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der experimentellen Grundlagen für Quantentechnologien und der Möglichkeiten der verschiedenen Plattformen zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in den experimentellen Grundlagen für Quantentechnologien und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

#### **Inhalt:**

- Fundamentals of quantum degenerate ultra-cold quantum matter: Laser cooling, trapping, manipulating and measuring atoms/molecules/ions
- Atomic-molecular and optical physics
- Atom-light interaction
- Quantum meteorology, squeezing and entanglement
- Matter waves
- Single photon sources and detectors
- Impurities and color centers
- Superconducting qubits and quantum circuits
- Semiconductor physics
- Band structure and optical transitions
- Magnetism
- Superconductivity
- Quantum dots
- Scattering and dephasing processes (phonons, impurities, carrier-carrier)
- Transport in external fields
- Device physics
- Qubit implementations

#### **Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Mathematische Grundlagen aus dem der Zulassung zum Masterstudium zu Grunde liegenden Studium und grundlegende Programmierkenntnisse (z.B. Python).

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungsübung (VU) ist interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Forschung und deren Umsetzung in Technologien weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt laufend anhand von Übungs- und Projektarbeiten, und in abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms

7,0/4,0 VU Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms

## **Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics**

**Regelarbeitsaufwand:** 10,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können Studierende die Grundlagen und zentralen Konzepte des Quantum Computing, der Komplexitätstheorie und der Algorithmik im Hinblick auf deren Relevanz in Quanteninformationswissenschaften und -technologien illustrieren und bewerten. Sie können beispielsweise die Ideen, die verschiedenen Quantenalgorithmen zu Grunde liegen, erklären und begründen, den Begriff und die Konsequenzen der Dekohärenz erläutern und elementare Fehlerkorrekturstrategien diskutieren und evaluieren.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls verfügen Studierende über (1) Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus dem Quantum Computing, der Komplexitätstheorie und Algorithmik. (2) Sie können die Lösungen praktisch auswerten und analysieren. (3) Sie sind in der Lage, quanteninformati- onstechnologische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln. (4) Sie können Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich des Quantum Computing, der Komplexitätstheorie und Algorithmik zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in Quantum Computing, der Komplexitätstheorie und Algorithmik und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

### **Inhalt:**

- Quantum computing:
  - Basic notions (including mathematical and quantum-mechanical background)
  - Programming techniques and reverse computation
  - Simple quantum algorithms like Deutsch, Deutsch-Jozsa, Bernstein-Vazirani, quantum teleportation
  - Algorithm of Grover
  - Algorithm of Simon
  - Quantum Fourier transformation, phase estimation, and order finding
  - Algorithm of Shor
  - Variational solvers and examples for combined classical/quantum algorithms
- Complexity theory:
  - Basic notions
  - Deterministic, non-deterministic, probabilistic, quantum models of computation (including corresponding classical problems)
  - Complexity measures and important complexity classes like, P, NP, PSPACE, and the polynomial hierarchy
  - Concept of problem reductions
  - Concept of NP hardness and NP completeness
  - Important probabilistic complexity classes
  - Important quantum complexity classes
  - Relation between complexity classes
  - Discussion of the (extended) Church-Turing thesis
  - Classical and quantum circuit models
- Algorithmics:
  - Basics of graphs: connectivity, traversal, bipartiteness, topological ordering
  - Greedy algorithms: Interval scheduling, minimum spanning tree
  - Divide and conquer: Recurrence relation, counting inversions, closest pairs of points
  - Dynamic programming (DP): Principles of DP, weighted inter scheduling, knapsack problem, shortest path problem
  - Network flow algorithms: Ford-Fulkerson algorithm, MaxCut versus MinFlow, applications
  - Linear Programming vs. Integer Linear Programming

- Approximation algorithms/Local search

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Mathematische Grundlagen aus dem der Zulassung zum Masterstudium zu Grunde liegenden Studium und grundlegende Programmierkenntnisse (z.B. Python).

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesungsübung (VU) ist interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen anschaulich gestaltet. Die in den Vorlesungsteilen der VU vermittelten Inhalte werden in den Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Forschung und deren Umsetzung in Technologien weiter vertieft. Die Beurteilung erfolgt laufend anhand von Übungs- und Projektarbeiten, und in abschließenden, mündlichen oder schriftlichen Prüfungen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics

7,0/4,0 VU Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics

## Quantum Physics

**Regelarbeitsaufwand:** 6,0-18,0 ECTS

**Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können Studierende (1) komplexe Probleme der Quantenwissenschaft umfassend analysieren; (2) die für eine Lösung geeigneten Methoden identifizieren, evaluieren und anwenden. (3) Wenn notwendig, können sie die Entwicklung neuer Methoden anstoßen, entscheidend bei deren Konzeption und Entwicklung mitwirken, diese evaluieren und anwenden. (4) Sie können Anwendungen in verschiedenen Bereichen wie der Quantenoptik, Quanten-thermodynamik, Quantenvielteilchenphysik, Quantensimulation und Quantenmetrologie konzipieren, entwickeln, umsetzen und kritisch beurteilen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen Studierende über Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus der

Quanteninformatikwissenschaft. (2) Sie sind in der Lage, quantenphysikalische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (3) finden Lösungen und können diese analysieren und evaluieren; (4) können neue Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der Quanteninformatikwissenschaft zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in der Quanteninformatikwissenschaft und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Advanced quantum mechanics
- Quantum optics
- Machine learning
- Atomic, molecular and optical (AMO) physics
- Quantum many-body and strongly correlated systems
- Quantum field theory for many-body systems
- Quantum simulation
- Quantum metrology
- Quantum thermodynamics

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Inhalte der Pflichtvorlesungen der Module *Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations*, *Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms* und *Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithms*.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesung (VO) und Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen anschaulich gestaltet.

Die Inhalte werden in den Übungen (UE) bzw. Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Forschung und deren Umsetzung in Technologien weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst, welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für manche VUs wird neben der Beurteilung des Übungsteils wie auch bei der VO eine zusätzliche abschließende, mündliche oder schriftliche Prüfung zur Leistungsbeurteilung herangezogen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

#### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

- 3,0/2,0 VO Quantum Optics I
- 3,0/2,0 VO Quantum Optics II
- 3,0/2,0 VO Atomic and Molecular Physics, Spectroscopy Quantum Metrology
- 3,0/2,0 VO Macroscopic Quantum Systems
- 3,0/2,0 VO Atoms - Light - Matter Waves
- 5,0/3,0 VU Machine Learning in Physics
- 3,0/2,0 VO Quantum Field Theory for Many-Body Systems
- 2,0/1,0 UE Quantum Field Theory for Many-Body Systems
- 3,0/2,0 VO Quantum Metrology
- 3,0/2,0 VO Open Quantum Systems
- 3,0/2,0 VO Quantum Thermodynamics I
- 6,0/4,0 VO Quantum Simulation

Dieses Modul enthält keine verpflichtenden Lehrveranstaltungen. Es müssen mindestens 6 und maximal 18 ECTS-Punkte aus dem Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden.

## **Quantum Technology and Devices**

**Regelarbeitsaufwand:** 6,0-18,0 ECTS

#### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können Studierenden Quanteninformations- und Quantentechnologieplattformen und deren experimentelle Umsetzung illustrieren und deren Funktionsweise im Detail nachvollziehen. Insbesondere können sie spezifische Probleme im Zusammenhang mit der technologischen Realisierung von Quantenhardware analysieren und bewerten. Methodisch können sie Quantenmodule für spezifische Anwendungen entwerfen und umsetzen. Sie können Schemata zur Steuerung, Manipulation und Auslesung von Quantenbits und -schaltkreisen entwerfen und Konzepte der Quantensensorik und zugehöriger Hardware-Implementierungen entwickeln.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen Studierende über Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus der Quantentechnologie; insbesondere können sie die Eignung spezifischer Plattformen für konkrete technologische Anwendungen beurteilen und Forschungs- und Entwicklungsziele zu deren Realisierung definieren. Sie (2) sind in der Lage, quanteninformationstechnologische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln. (3) Sie finden Lösungen und können diese analysieren und evaluieren; (4) können neue Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der Quantentechnologie zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in der Quantentechnologie und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Quantum technology
- Quantum devices
- Qubit implementation
- Solid state physics
- Quantum metrology and sensing
- Quantum control
- Optical systems and photonics
- Lasers
- Quantum electronics
- Quantum engineering

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Inhalte der Pflichtvorlesungen der Module *Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations*, *Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms* und *Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithms*.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die



Vorlesung (VO) und Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelte Wissen wird durch multimediale Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen anschaulich gestaltet. Die Inhalte werden in den Übungen (UE) bzw. Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Forschung und deren Umsetzung in Technologien weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst, welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für manche VUs wird neben der Beurteilung des Übungsteils wie auch bei der VO eine zusätzliche abschließende, mündliche oder schriftliche Prüfung zur Leistungsbeurteilung herangezogen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

#### **Lehrveranstaltungen des Moduls:**

- 3,0/2,0 VO Quantum Technology I
- 3,0/2,0 VO Quantum Technology II
- 6,0/4,0 VO Control in Quantum Science: Theoretic Concepts
- 3,0/2,0 VO Control in Quantum Science: Selected Applications
- 3,0/2,0 LU Control in Quantum Science Lab
- 3,0/2,0 VO Emerging Memory and Logic Devices
- 3,0/2,0 VO Advanced Quantum Electronics
- 3,0/2,0 VU Integrated Circuits
- 3,0/2,0 VO Optical Precision Metrology
- 3,0/2,0 VO MEMS/NEMS Quantum Sensing
- 3,0/2,0 VU Photonics 2
- 3,0/2,0 VO Optical Systems
- 3,0/2,0 VO Ultrafast Lasers
- 3,0/2,0 VO Nano-Photonics
- 3,0/2,0 VO Modern Solid-State Lasers
- 4,0/2,0 VO Solid State Physics 2
- 6,0/4,0 VU Quantum Engineering

Dieses Modul enthält keine verpflichtenden Lehrveranstaltungen. Es müssen mindestens 6 und maximal 18 ECTS-Punkte aus dem Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden.

## **Quantum Information and Computing**

**Regelarbeitsaufwand:** 6,0-18,0 ECTS

#### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können Studierende fortgeschrittene Themen der Quantenwissenschaft und Anwendungen

in verschiedenen Bereichen wie der Quanteninformationstheorie, Quantenberechnung, Quantensimulation und Quantenmetrologie zu diskutieren, evaluieren, analysieren und zu bewerten. Sie verfügen über die methodischen Kenntnisse komplexe Probleme zu evaluieren, Lösungen zu entwerfen und umzusetzen.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen Studierende über Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus der Quanteninformationswissenschaft. Sie (2) sind in der Lage, quanteninformationstechnologische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln; (3) finden Lösungen und können diese analysieren und evaluieren; (4) können neue Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der Quanteninformationswissenschaft zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in der Quanteninformationswissenschaft und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Präsentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (je nach Wahl der Lehrveranstaltungen)

- Quantum information
- Quantum communication
- Quantum algorithms
- Components of quantum information systems
- Quantum computation
- Complexity theory

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Inhalte der Pflichtvorlesungen der Module *Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations*, *Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms* und *Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithms*.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Die Vorlesung (VO) und Vorlesungsübungen (VU) sind interaktiv gestaltet. Das in den Vorlesungen bzw. den Vorlesungsteilen der VU vermittelte Wissen wird durch multimediale

Darstellungen und aus der Praxis kommende Problemstellungen anschaulich gestaltet. Die Inhalte werden in den Übungen (UE) bzw. Übungsteilen der VU anhand von Beispielen aus der Forschung und deren Umsetzung in Technologien weiter vertieft, wobei die Studierenden die gestellten Aufgaben entweder alleine oder in Kleingruppen bearbeiten. Die in den Übungsteilen erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in Form von Vorträgen präsentiert und/oder in technischen Berichten zusammengefasst, welche zusammen mit der Mitarbeit die Grundlage für die Leistungsbeurteilung der Übungen (UE) bzw. der Vorlesungsübungen (VU) bilden. Für manche VUs wird neben der Beurteilung des Übungsteils wie auch bei der VO eine zusätzliche abschließende, mündliche oder schriftliche Prüfung zur Leistungsbeurteilung herangezogen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

- 3,0/2,0 VO Quantum Information Theory I
- 3,0/2,0 VO Quantum Information Theory II
- 4,5/3,0 VU Hybrid Classic/Quantum Systems
- 3,0/2,0 VO Numerical Analysis on Quantum Computers
- 6,0/4,0 VO Quantum Communication and Security
- 4,5/3,0 VU Quantum Computing Architectures
- 4,5/3,0 VU Algorithms and Software in Quantum Computing

Dieses Modul enthält keine verpflichtenden Lehrveranstaltungen. Es müssen mindestens 6 und maximal 18 ECTS-Punkte aus dem Lehrveranstaltungskatalog dieses Moduls absolviert werden.

## **Freie Wahlfächer und Transferable Skills**

**Regelarbeitsaufwand:** 9,0 ECTS

**Inhalt:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Erwartete Vorkenntnisse:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Abhängig von den gewählten Lehrveranstaltungen.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:** Die Lehrveranstaltungen dieses Moduls können frei aus dem Angebot an wissenschaftlichen und künstlerischen Lehrveranstaltungen, die der Vertiefung des Faches oder der Aneignung außerfachlicher Kenntnisse, Fähigkeiten und Kompetenzen dienen, aller anerkannten in- und ausländischen postsekundären

Bildungseinrichtungen ausgewählt werden, mit der Einschränkung, dass zumindest 4,5 ECTS aus den Themenbereichen der Transferable Skills zu wählen sind. Für die Themenbereiche der Transferable Skills werden insbesondere Lehrveranstaltungen aus dem zentralen Wahlfachkatalog der TU Wien für *Transferable Skills* empfohlen (speziell der Modulgruppen “Technik für Menschen”, “Sozialkompetenz”, “Rechts- und Wirtschaftswissenschaftliche Kompetenz”), worüber ethische und soziologische Kompetenzen für die wissenschaftliche Forschung und technische Realisierung erworben werden können.

## **Wissenschaftliches Arbeiten**

**Regelarbeitsaufwand:** 18,0 ECTS

### **Lernergebnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls können die Studierenden (1) aktuelle wissenschaftliche Fragestellungen formulieren; (2) mit wissenschaftlicher Fachliteratur arbeiten, diese bewerten und hinterfragen; (3) einen Projektplan zur Bearbeitung einer aktuellen wissenschaftlichen Fragestellung erarbeiten; (4) sich selbstständig in ein aktuelles wissenschaftliches Thema einarbeiten und die mit der Lösung verbundenen spezifischen Methoden anwenden; (5) die Ergebnisse einem Fachpublikum präsentieren. Die fachlichen Inhalte hängen von den gewählten Themen ab.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls (1) verfügen Studierende über Lösungskompetenz für grundlegende Problemstellungen aus der Quanteninformatikwissenschaft und -technologie. (2) Sie sind in der Lage, quanteninformatiktechnologische Problemstellungen wissenschaftlich zu formulieren, umfassend zu analysieren und dafür geeignete Lösungsvorschläge zu entwickeln. Sie können (3) die Lösungsvorschläge umsetzen, praktisch auswerten und analysieren; (4) die angewandte Lösungsstrategie und die erzielten Ergebnisse in einem technischen Bericht zusammenfassen und entsprechend dokumentieren; (5) die von Ihnen gewählten Lösungsstrategien präsentieren und begründen; (6) können sie Entwicklungen vorantreiben, Anwendungen entwickeln und deren Auswirkungen auf Industrie, Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt kritisch evaluieren und berücksichtigen.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Nach positiver Absolvierung des Moduls sind die Studierenden in der Lage: (1) alleine und in kleinen Gruppen Fragestellungen im Bereich der Quanteninformatikwissenschaft und -technologie zu analysieren und Lösungen zu erarbeiten; (2) analytisch, methodisch, lösungs- und gestaltungsorientiert zu denken; (3) Entwicklungen in der Quanteninformatikwissenschaft und -technologie und ihr eigenes Handeln einzuschätzen; (4) selbstverantwortlich und wissenschaftlich zu arbeiten; (5) zu vermitteln und zu beraten und im Team effizient zu arbeiten, verbunden mit gediegenen Fertigkeiten in der Kommunikation und Presentation; (6) ihre Ausbildung auf dem jeweils aktuellen Stand des Fachwissens zu halten.

**Inhalt:** (die spezifischen Inhalte hängen von den gewählten Themen ab)

- Erlernen aktueller wissenschaftlicher Fragestellungen, Einordnung in den Kontext und Präsentation bisheriger Ergebnisse im Seminar

- Erwerb der Fertigkeiten der experimentellen bzw. theoretisch-mathematischen Praxis (Praktikum und Projektarbeit) als Vorbereitung auf die Diplomarbeit

**Erwartete Vorkenntnisse:**

*Fachliche und methodische Kompetenzen:* Inhalte der Pflichtvorlesungen der Module *Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations*, *Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms* und *Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithms*.

*Kognitive und praktische Kompetenzen:* Abstraktes Denken, Analysefähigkeit und Problemlösekompetenz.

*Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen:* Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit und Selbstorganisation.

**Verpflichtende Voraussetzungen:** Keine.

**Angewendete Lehr- und Lernformen und geeignete Leistungsbeurteilung:** Das Modul kombiniert ein Seminar (SE), ein Praktikum (LU) und eine Projektarbeit (PR) mit Forschungscharakter in Eigenverantwortung und in der Gruppe. Die Beurteilung des Seminars (SE) und des Praktikums (LU) erfolgt durch Bewertung des Seminarvortrags bzw. schriftlicher Protokolle. Die in der Projektarbeit (PR) erzielten Ergebnisse werden von den Studierenden in einem technischen Bericht präsentiert, welcher die Grundlage für die Leistungsbeurteilung bildet. Diese wird durch eine laufende Erfolgskontrolle in allen Lehrveranstaltungen mit immanenten Prüfungscharakter ergänzt.

Die angewendeten Lehr- und Lernformen sind im Informationssystem zu Studien und Lehre bei jeder Lehrveranstaltung vor Beginn des Semesters anzugeben; ebenso die Prüfungsmodalitäten.

**Lehrveranstaltungen des Moduls:**

3,0/2,0 SE Quantum Information Science and Technology Seminar

10,0/8,0 PR Projektarbeit

5,0/4,0 LU Quantum Information Science and Technology Praktikum

## **B Semestereinteilung der Lehrveranstaltungen**

### **1. Semester (WS)**

3,0 VU Introduction to Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations

7,0 VU Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations

3,0 VU Introduction to Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms

7,0 VU Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms

3,0 VU Introduction to Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics

7,0 VU Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics

### **3. Semester (WS)**

10,0 PR Projektarbeit

3,0 SE Quantum Information Science and Technology Seminar

5,0 LU Quantum Information Science and Technology Praktikum

## **C Prüfungsfächer mit den zugeordneten Modulen und Lehrveranstaltungen**

### **Prüfungsfach „Quantum Physics“ (16,0 - 28,0 ECTS)**

#### **Modul „Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations“ (10,0 ECTS)**

3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations  
7,0/4,0 VU Quantum Physics: Basic Concepts and Foundations

#### **Modul „Quantum Physics“ (6,0-18,0 ECTS)**

3,0/2,0 VO Quantum Optics I  
3,0/2,0 VO Quantum Optics II  
3,0/2,0 VO Atomic and Molecular Physics, Spectroscopy Quantum Metrology  
3,0/2,0 VO Macroscopic Quantum Systems  
3,0/2,0 VO Atoms - Light - Matter Waves  
5,0/3,0 VU Machine Learning in Physics  
3,0/2,0 VO Quantum Field Theory for Many-Body Systems  
2,0/1,0 UE Quantum Field Theory for Many-Body Systems  
3,0/2,0 VO Quantum Metrology  
3,0/2,0 VO Open Quantum Systems  
3,0/2,0 VO Quantum Thermodynamics I  
6,0/4,0 VO Quantum Simulation

### **Prüfungsfach „Quantum Technology and Devices“ (16,0 - 28,0 ECTS)**

#### **Modul „Quantum Technology and Devices: Techniques and Platforms“ (10,0 ECTS)**

3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms  
7,0/4,0 VU Quantum Technology and Devices: Experimental Techniques and Platforms

#### **Modul „Quantum Technology and Devices“ (6,0-18,0 ECTS)**

3,0/2,0 VO Quantum Technology I  
3,0/2,0 VO Quantum Technology II  
6,0/4,0 VO Control in Quantum Science: Theoretic Concepts  
3,0/2,0 VO Control in Quantum Science: Selected Applications  
3,0/2,0 LU Control in Quantum Science Lab  
3,0/2,0 VO Emerging Memory and Logic Devices  
3,0/2,0 VO Advanced Quantum Electronics  
3,0/2,0 VU Integrated Circuits  
3,0/2,0 VO Optical Precision Metrology

3,0/2,0 VO MEMS/NEMS Quantum Sensing  
3,0/2,0 VU Photonics 2  
3,0/2,0 VO Optical Systems  
3,0/2,0 VO Ultrafast Lasers  
3,0/2,0 VO Nano-Photonics  
3,0/2,0 VO Modern Solid-State Lasers  
4,0/2,0 VO Solid State Physics 2  
6,0/4,0 VU Quantum Engineering

## **Prüfungsfach „Quantum Information and Computing“ (16,0 - 28,0 ECTS)**

### **Modul „Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics“ (10,0 ECTS)**

3,0/2,0 VU Introduction to Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics  
7,0/4,0 VU Quantum Computing, Complexity Theory, and Algorithmics

### **Modul „Quantum Information and Computing“ (6,0-18,0 ECTS)**

3,0/2,0 VO Quantum Information Theory I  
3,0/2,0 VO Quantum Information Theory II  
4,5/3,0 VU Hybrid Classic/Quantum Systems  
3,0/2,0 VO Numerical Analysis on Quantum Computers  
6,0/4,0 VO Quantum Communication and Security  
4,5/3,0 VU Quantum Computing Architectures  
4,5/3,0 VU Algorithms and Software in Quantum Computing

## **Prüfungsfach „Freie Wahlfächer und Transferable Skills“ (9,0 ECTS)**

### **Modul „Freie Wahlfächer und Transferable Skills“ (9,0 ECTS)**

## **Prüfungsfach „Wissenschaftliches Arbeiten“ (18,0 ECTS)**

### **Modul „Wissenschaftliches Arbeiten“ (18,0 ECTS)**

3,0/2,0 SE Quantum Information Science and Technology Seminar  
10,0/8,0 PR Projektarbeit  
5,0/4,0 LU Quantum Information Science and Technology Praktikum

## **Prüfungsfach „Diplomarbeit“ (30,0 ECTS)**

27,0 ECTS Diplomarbeit  
3,0 ECTS Kommissionelle Abschlussprüfung