



# Modulhandbuch für den Studiengang Quantencomputing und -engineering

Abschluss: Bachelor of Science (B.Sc.)

# 1 Index

## Abkürzungen:

- ECTS European Credit Transfer and Accumulation System
  - CP Credit Points, ECTS-Punkte
  - h Stunden
  - SWS Semesterwochenstunden
  - SoSe Sommersemester
  - WiSe Wintersemester
  - SPO Studien- und Prüfungsordnung
  - HKA Hochschule Karlsruhe
- 
- QUCB Bachelorstudiengang Quantencomputing

## Erklärungen:

**Modul:** Zusammenschluss mehrerer Lehrveranstaltungen zu einer thematisch **zusammenhängenden Einheit** mit gemeinsamem Lernziel.

**Workload:** Angabe des **Arbeitsaufwands** der Studierenden, der mit dem beschriebenen Modul bzw. der beschriebenen Lehrveranstaltung verbunden ist. Umfasst sind nicht nur Präsenzzeiten, sondern auch Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung sowie Zeiten für die Prüfungsvorbereitung. Gemessen wird der Workload in Stunden (h), die sich aus dem Modulumfang in Form von Leistungspunkten, sogenannten Credit Points, ergeben (s.u.).

**Credit Points (CP):** Credit Points geben den Umfang des Lernens auf Basis von Kompetenzen und den damit verbundenen Arbeitsaufwand (Workload) an. **Ein Credit Point** entspricht an der HKA einem Workload von **30 Arbeitsstunden**. Pro Semester sollen in der Regel Module im Umfang von 30 Credit Points abgeleistet werden, was einem Gesamtarbeitsaufwand von ca. 900 Arbeitsstunden entspricht.

Inhaltsverzeichnis

- 1 Index..... 2
- 2 Aufbau Bachelorstudiengang Quantencomputing und -engineering ..... 5
- 3 Modulübersicht ..... 6
- 4 Module ..... 7
  - 4.1 Semester 1..... 7
    - 4.1.1 Mathematik ..... 8
    - 4.1.2 Experimentalphysik ..... 11
    - 4.1.3 Gleichstromtechnik ..... 13
    - 4.1.4 Digitaltechnik..... 15
    - 4.1.5 Informatik 1 ..... 18
  - 4.2 Semester 2..... 21
    - 4.2.1 Höhere Mathematik ..... 22
    - 4.2.2 Atom- und Festkörperphysik ..... 24
    - 4.2.3 Wechselstromtechnik..... 26
    - 4.2.4 Mikrocontroller ..... 29
    - 4.2.5 Informatik 2 ..... 32
  - 4.3 Semester 3..... 35
    - 4.3.1 Technische Mathematik ..... 36
    - 4.3.2 Quantenmechanik ..... 38
    - 4.3.3 Elektronik..... 40
    - 4.3.4 Signale und Systeme..... 43
    - 4.3.5 Software Engineering und Verteilte Systeme ..... 46
  - 4.4 Semester 4..... 49
    - 4.4.1 Architekturen von Quantencomputern..... 50
    - 4.4.2 Quantenoperationen und -algorithmen..... 52
    - 4.4.3 Zufallsprozesse in der Quantenmechanik ..... 55
    - 4.4.4 Schnittstellen zu Quantencomputern ..... 57
    - 4.4.5 Wahlpflichtfach 1 ..... 60
  - 4.5 Semester 5..... 61
    - 4.5.1 Praxisbegleitung ..... 62
    - 4.5.2 Praxistätigkeit..... 64
  - 4.6 Semester 6..... 66
    - 4.6.1 Quantensensorik und -kommunikation ..... 67
    - 4.6.2 Fehlertolerantes Quantencomputing..... 69
    - 4.6.3 Quantenoptimierung und KI-Anwendung..... 71

4.6.4	Projektarbeit.....	74
4.6.5	Wahlpflichtfach 2 .....	76
4.7	Semester 7.....	77
4.7.1	Ringvorlesung Quantencomputing.....	78
4.7.2	Wahlpflichtfach 3 .....	80
4.7.3	Vorbereitung Wissenschaftliches Arbeiten.....	81
4.7.4	Bachelor-Thesis .....	82
4.7.5	Abschlusskolloquium.....	83

## 2 Aufbau Bachelorstudiengang Quantencomputing und -engineering

Im Folgenden wird der Studiengang lediglich als „Quantencomputing“ bezeichnet.

# 3 Modulübersicht

## Modulübersicht erweitertes Grundstudium

Sem.	Mathematik	Quantenphysik	Informatik	Elektrotechnik	Digitaltechnik	SWS
1	Mathematik 6 SWS	Experimentalphysik Grundlagenseminar QC 4 + 1 SWS	Informatik 1 4 + 2 SWS	Gleichstromtechnik 3 + 1 SWS	Digitaltechnik 4 + 2 SWS	27
2	Höhere Mathematik 6 SWS	Atom- und Festkörperphysik 4 SWS	Informatik 2 4 + 2 SWS	Wechselstromtechnik 4 SWS	Mikrocontroller 4 + 2 SWS	26
2	Technische Mathematik und Systemsimulation 4 + 2 SWS	Quantenmechanik 4 SWS	Softwareengineering und verteilte Systeme 4 + 2 SWS	Elektronik 4 + 2 SWS	Signale und Systeme Ethik (3 + 1) SWS	26

## Modulübersicht Hauptstudium

### Hauptstudium

Sem.						SWS
4	Architekturen von Quantencomputern 4 SWS	Quantenoperationen und -algorithmen 4 + 2 SWS	Zufallsprozesse in der Quantenmechanik 4 SWS	Schnittstellen zu Quantencomputern 4 + 2 SWS	Wahlpflichtfach 1 4 SWS	24
6	Quantensensorik und -kommunikation (2+2) SWS	Fehlertolerantes Quantencomputing 4 + 2 SWS	Quantenoptimierung und KI-Anwendungen 4 + 2 SWS	Projektarbeit 5 SWS	Wahlpflichtfach 2 4 SWS	25
7	Ringvorlesung Quantencomputing 4 SWS	Wahlpflichtfach 3 4 SWS	Vorbereitung wissenschaftliches Arbeiten 2 SWS	Bachelorthesis	Abschlusskolloquium	10

## 4 Module

### 4.1 Semester 1

#### Module Grundstudium

- Mathematik
- Experimentalphysik
- Gleichstromtechnik
- Digitaltechnik
- Informatik 1

### 4.1.1 Mathematik

<b>Mathematik</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB110
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Jürgen Weizenecker
Modulumfang (ECTS): 7 CP
Einordnung (Semester): 1. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: keine
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
<p>Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Teilnehmenden beherrschen die elementaren Grundlagen der Ingenieurmathematik indem Sie</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) mit reellen Zahlen rechnen und Umformungen mit Konstanten und Variablen in diesen Zahlenbereichen durchführen</li> <li>2) mathematische Beweise führen, insbesondere mit Hilfe der vollständigen Induktion</li> <li>3) den Umgang mit komplexen Zahlen beherrschen und Umformungen ausführen können, Gleichungen sowie Ungleichungen lösen und geometrisch interpretieren</li> <li>4) lineare Gleichungssysteme lösen mit und ohne Parameter mit dem Gaußschen Eliminationsverfahren</li> <li>5) die Methoden der Vektorrechnung nutzen, um geometrische Aufgabenstellungen zu lösen. Richtungsabhängige Größen aus verschiedenen technischen Anwendungskontexten durch Vektoren beschreiben und geometrische Anschauungen in der Ebene und im Raum auf abstrakte Sachverhalte anwenden</li> <li>6) mit elementaren Funktionen rechnen, Umformungen von und mit Funktionen beherrschen. und in der Lage sind Funktionen zu skizzieren und zu transformieren. Sie wenden Funktionen auf anwendungsbezogene Sachverhalte aus ihrem Gebiet an</li> <li>7) den Grenzwertbegriff von Folgen interpretieren können und Grenzwerte verschiedenster Folgen berechnen</li> <li>8) Grenzprozesse für reelle Funktionen durchführen und dynamische Prozesse ihres Anwendungsumfelds mit Hilfe von Grenzprozessen modellieren: Sie arbeiten sicher mit Differenzen- und Differenzialquotienten und beherrschen das Ableitungskalkül</li> </ol> <p>um grundlegende mathematische Verfahren in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern einsetzen und bewerten zu können.</p>
Prüfungsleistungen: Klausur (120 Minuten) und Take Home Exam (20 Minuten, Prüfungsvorleistung)

<b>Lehrveranstaltung: Mathematik 1</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB111
Dozierende(r): Prof. Dr. Stefan Ritter, Prof. Dr. Jürgen Weizenecker, Prof. Dr. Thomas Westermann
Umfang (SWS): 5,5
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengen und Zahlen</li> <li>• Mathematische Beweismethoden</li> <li>• Komplexe Zahlen</li> <li>• Lineare Gleichungssysteme</li> <li>• Vektorrechnung und analytische Geometrie</li> <li>• Elementare Funktionen</li> <li>• Folgen und Reihen</li> <li>• Grenzwerte und Stetigkeit von Funktionen</li> <li>• Differenzierbarkeit von Funktionen</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Burg, C.; Haf, H.; Wille, F.: Höhere Mathematik für Ingenieure, Bd. 1 und 2, Vieweg-Teubner</li> <li>• Dürrschnabel, K.: Mathematik für Ingenieure, Vieweg-Teubner</li> <li>• Goebels, S. und S. Ritter: Mathematik verstehen und anwenden, Springer-Spektrum, 2013, 2. Auflage</li> <li>• Kreyszig, E.: Advanced Engineering Mathematics, Wiley</li> <li>• Meyberg, K. und P. Vachenauer: Höhere Mathematik 1, Springer</li> <li>• Papula, L.: Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler Bd. 1 und Bd. 2, Vieweg Teubner</li> <li>• Stingl, P.: Mathematik für Fachhochschulen, Hanser</li> <li>• Westermann, Thomas: Mathematik für Ingenieure, Springer</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Richtig Lernen</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB112
Dozierende(r): Frau Hirschmüller
Umfang (SWS): 0,5
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Seminar, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"><li>•</li></ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"><li>•</li></ul>

#### 4.1.2 Experimentalphysik

### Experimentalphysik

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB120
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Christian Karnutsch
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 1. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Grundkenntnisse in Mathematik und Physik
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden können die Grundlagen der geometrischen Optik, der Kinematik und der Dynamik auf beispielhafte praktische Situationen anwenden, indem sie die in der Lehrveranstaltung vermittelten Formeln, Zusammenhänge und Grundprinzipien anwenden, um die Herangehensweise und die grundlegenden Methoden zur Lösung physikalischer Probleme zu beherrschen. Dadurch sind die Studierenden in der Lage, selbständig physikalische Fragestellungen zu bearbeiten sowie einschlägige Probleme zu lösen. Das Labor Physik befähigt die Studierenden grundlegende physikalische Experimentiertechniken durchzuführen und an Hand von Beispielen zu dokumentieren.
Prüfungsleistungen: Die theoretischen Kenntnisse der Vorlesung Physik werden in einer Klausur (120 Minuten) bewertet. Die Inhalte des Seminars Quantencomputing werden durch Take Home Exams bewertet (Studienleistung).

Lehrveranstaltung: Physik
EDV-Bezeichnung: QUCB121
Dozierende(r): Prof. Dr. Christian Karnutsch, Prof. Dr. Hubert Schwab, Prof. Dr. Harald Sehr
Umfang (SWS): 4
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Optik</li> <li>• Mechanik: Kinematik</li> <li>• Dynamik: Kraft, Energie, Impuls, Drehimpuls, Erhaltungssätze, Mechanische Spannungen, Dehnung, Hookesches Gesetz</li> <li>• Grundzüge von Schwingungen und Wellen und ihren Eigenschaften</li> <li>• Magnetfeld, elektrisches Feld</li> </ul>

## Empfohlene Literatur:

- Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, Jearl et al: Physik: Bachelor-Edition, Wiley-VCH, 2007, (ISBN 3527407464, 9783527407460)
  - Dobrinski, Paul; Krakau, Gunter; Vogel, Anselm: Physik für Ingenieure, Vieweg+Teubner, 2007, 11. Aufl., (ISBN3835100203, 9783835100206)
  - Hering, Ekbert; Martin, Rolf; Stohrer, Martin: Physik für Ingenieure, Springer, 2007, 9. Aufl. (ISBN3540210369, 9783540210368)
  - Tipler, Paul; Gene Mosca: Physik: Für Wissenschaftler und Ingenieure, Spektrum Akademischer Verlag, 2009, 6. Aufl., (ISBN 382741945X, 9783827419453)
  - Gerthsen, Christian; Meschede Dieter: Physik, Springer, 2003, 22. Aufl., (ISBN 3540026223, 9783540026228)
  - Harten, Ulrich: Physik: Eine Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer, 2007, 3. Aufl., (ISBN 354034053X, 9783540340539)
  - Kuypers, Friedhelm: Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Band 1, Mechanik und Thermodynamik, Wiley-VCH, 2002, 2. Aufl., (ISBN 9783527403684)
  - Kuypers, Friedhelm: Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Band 2, Elektrizität, Optik und Wellen, Wiley-VCH, 2003, 2. Aufl., (ISBN 3527403949)
  - Giancoli, Physik, Pearson Studium
- Speziell für den Bereich Optik:
- Hecht, Eugene: Optik, Oldenbourg, 2009, 5. Auflage

**Lehrveranstaltung: Seminar Quantencomputing**

EDV-Bezeichnung: QUCB122

Dozierende(r): NN

Umfang (SWS): 1

Turnus: Wintersemester

Art, Modus: Seminar

Lehrsprache: Deutsch

Studieninhalte:

Anschauliche Vorträge und Versuche zum phänomenologischen Behandeln des Quantencomputings

Empfohlene Literatur:

- Wird in der Veranstaltung bekanntgegeben

### 4.1.3 Gleichstromtechnik

## Gleichstromtechnik

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB130
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Thomas Ahndorf
Modulumfang (ECTS): 5 CP
Einordnung (Semester): 1. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Schulwissen in Mathematik und Physik (Fachhochschulreife)
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Teilnehmer können lineare Netzwerke analysieren und berechnen, indem sie: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) grundlegende Gesetzmäßigkeiten anwenden (ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Regeln)</li> <li>2) lineare Bauelemente und lineare Quellen zusammenfassen</li> <li>3) Verfahren der Netzanalyse anwenden (Superposition, Knotenpotentialverfahren)</li> <li>4) Operationsverstärker Grundsaltungen erkennen und berechnen</li> <li>5) ein begleitendes Projekt bearbeiten</li> </ol> damit sie die Zusammenhänge bei linearen Schaltungen verstehen und diese Kenntnisse auf komplexe Systeme übertragen können.
Prüfungsleistungen: Die theoretischen Kenntnisse der Vorlesung Gleichstromtechnik werden in einer Klausur, 120 Minuten bewertet. Die praktischen Fähigkeiten aus dem Projekt Gleichstromtechnik (Dauer: 1 Semester) werden durch eine schriftliche Ausarbeitung bewertet.

Lehrveranstaltung: Gleichstromtechnik
EDV-Bezeichnung: QUCB131
Dozierende(r): Prof. Dr. Thomas Ahndorf, Prof. Dr. Rainer Merz, Prof. Dr. Herman Ng
Umfang (SWS): 3
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundbegriffe (Ladung, Strom, elektrische Feldstärke, Kräfte im elektrostatischen Feld, Spannung, Leistung)</li> <li>• Passive Zweipole (Widerstände), Aktive Zweipole (ideale Spannungs- und Stromquellen), Zählpfeilsysteme</li> <li>• Knoten- und Maschengleichungen</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ersatzwiderstand, Ersatzspannungsquelle, Ersatzstromquelle</li> <li>• Leistungsanpassung</li> <li>• Superposition</li> <li>• Knotenpotentialverfahren</li> <li>• Operationsverstärker-Grundsaltungen</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A. Führer; K. Heidemann; W. Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik 1: Stationäre Vorgänge, Hanser Verlag, 2012, 9. Auflage</li> <li>• A. Führer; K. Heidemann; W. Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik 2: Zeitabhängige Vorgänge, Hanser Verlag, 2011, 9. Auflage</li> <li>• Wolff: Grundlagen der Elektrotechnik – Band 1, Das elektrische und das magnetische Feld, Wolff, Aachen 2003, 7. Auflage</li> <li>• Frohne, H.; Löcherer, K.-H.; Müller, H.: Grundlagen der Elektrotechnik, Teubner, Stuttgart 2013, 23. Auflage</li> <li>• Büttner, W.-E.: Grundlagen der Elektrotechnik 1, Oldenburg, München 2004</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Labor Gleichstromtechnik</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB132
Dozierende(r): Prof. Dr. Thomas Ahndorf, Prof. Dr. Rainer Merz, Prof. Dr. Herman Ng
Umfang (SWS): 1
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Übung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionsbeschreibung und Planung eines Schaltungsprojektes</li> <li>• Entwurf und Dimensionierung der Schaltung nach Spezifikation</li> <li>• Fertigung, Aufbau und Test der Schaltung</li> <li>• Dokumentation</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A. Führer; K. Heidemann; W. Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik 1: Stationäre Vorgänge, Hanser Verlag, 2012, 9. Auflage</li> <li>• A. Führer; K. Heidemann; W. Nerreter: Grundgebiete der Elektrotechnik 2: Zeitabhängige Vorgänge, Hanser Verlag, 2011, 9. Auflage</li> <li>• Wolff: Grundlagen der Elektrotechnik – Band 1, Das elektrische und das magnetische Feld, Wolff, Aachen 2003, 7. Auflage</li> <li>• Frohne, H.; Löcherer, K.-H.; Müller, H.: Grundlagen der Elektrotechnik, Teubner, Stuttgart 2013, 23. Auflage</li> <li>• Büttner, W.-E.: Grundlagen der Elektrotechnik 1, Oldenburg, München 2004</li> <li>• Tietze, U.; Schenk, Ch.; Gamm, E.: Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer Verlag, Berlin, 2016, 15. Auflage</li> </ul>

#### 4.1.4 Digitaltechnik

<b>Digitaltechnik</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB140
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Jan Bauer
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 1. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Schulwissen in Mathematik und Physik (Fachhochschulreife)
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
<p>Lernergebnisse und Kompetenzen: Studierende erlangen ein fundiertes Verständnis der digitalen Schaltungstechnik – von den Grundlagen binärer Repräsentationen über digitale Logik bis hin zur Realisierung komplexer Schaltungen mit Hardwarebeschreibungssprachen. Sie werden befähigt, digitale Systeme systematisch zu analysieren, zu entwerfen, zu simulieren und zu implementieren.</p> <p>Fachliche Kompetenzen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verständnis der Unterschiede zwischen analogen und digitalen Signalen</li> <li>• Sicherer Umgang mit Zahlensystemen, Codierungen und digitaler Arithmetik</li> <li>• Analyse und Synthese kombinatorischer und sequentieller Schaltungen</li> <li>• Anwendung von Boolescher Algebra, KV-Diagrammen und Minimierungstechniken</li> <li>• Entwurf und Interpretation endlicher Zustandsautomaten</li> <li>• Einsatz von Hardwarebeschreibungssprachen (VHDL) zur Modellierung digitaler Schaltungen</li> <li>• Verständnis des Zusammenhangs zwischen HDL-Code, Simulation und realer Hardware</li> </ul> <p>Methodische Kompetenzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systematische Analyse und Fehlerbehandlung digitaler Systeme</li> <li>• Entwicklung abstrahierter Modelle für digitale Funktionen</li> <li>• Strukturierter Entwurf und Simulation digitaler Logik auf verschiedenen Abstraktionsebenen</li> <li>• Transfer von Theorie in praktische Anwendungen durch experimentelle Aufbauten</li> </ul> <p>Sozial- und Selbstkompetenzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammenarbeit in Laborgruppen beim Aufbau und der Analyse digitaler Schaltungen</li> <li>• Entwicklung von Problemlösungskompetenz durch iterative Entwurfs- und Testzyklen</li> <li>• Selbstorganisation beim Durchführen von Projekten und Laboraufgaben</li> <li>• Reflexion über die Rolle der Digitaltechnik in modernen Technologien</li> </ul>
Prüfungsleistungen:

Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden für die Vorlesung Digitaltechnik in einer schriftlichen Klausur (Dauer: 120 Minuten) bewertet.

Studienleistung Labor Digitaltechnik:

Die praktischen Fähigkeiten im Umgang mit den Messmitteln und den Laborversuchen werden durch schriftliche Ausarbeitungen bewertet. Alternativ kann ein Laborversuch durch eine Seminararbeit zum Thema Technik und Gesellschaft ersetzt werden.

### Lehrveranstaltung: Digitaltechnik

EDV-Bezeichnung: QUCB141

Dozierende(r): Prof. Dr. Jan Bauer, Prof. Dr. Philipp Nenninger, Prof. Dr. Niclas Zeller, und Lehrbeauftragte

Umfang (SWS): 4

Turnus: Wintersemester

Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch

Studieninhalte:

- Einführung in digitale Systeme, Motivation und Anwendungsfelder
- Zahlensysteme, Codierungen und arithmetische Operationen im Binärsystem
- Grundlagen kombinatorischer Logik: boolesche Algebra, Normalformen, KV-Diagramme
- Schaltungsdesign: Multiplexer, Demultiplexer, Addierer, Komparatoren, Codewandler
- Zeitverhalten digitaler Systeme: Laufzeiten, Glitches, Synchronisation
- Grundlagen sequentieller Logik: FlipFlops, Zustandsautomaten, Zähler, Schieberegister
- Einführung in Hardwarebeschreibungssprachen (VHDL)
- Entwurf und Simulation digitaler Schaltungen mit VHDL

Empfohlene Literatur:

- Skript zur Vorlesung (wird bereitgestellt)
- Digital Design and Computer Architecture, S. Harris & D. Harris, Morgan Kaufmann, 2012, ISBN 978-0123944245

Anmerkungen: Das Modul ist integraler Bestandteil der ingenieurwissenschaftlichen Grundlagenausbildung. Die Verknüpfung von Theorie, praktischen Experimenten und Hardwarebeschreibungssprachen unterstützt ein tiefes Verständnis digitaler Systeme. Die Kombination von Schaltungsaufbau mit diskreten Bauelementen und anschließender Umsetzung in VHDL erleichtert den Transfer in die reale Anwendung

### Lehrveranstaltung: Labor Digitaltechnik

EDV-Bezeichnung: QUCB142

Dozierende(r): Prof. Dr. Jan Bauer, Prof. Dr. Philipp Nenninger, Prof. Dr. Niclas Zeller, und Lehrbeauftragte

Umfang (SWS): 2

Turnus: Wintersemester

Art, Modus: Labor, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung in den praktischen Umgang mit diskreten Logikbausteinen</li> <li>• Aufbau einfacher logischer Schaltungen (AND, OR, NOT, NAND, NOR, XOR) auf dem Breadboard</li> <li>• Entwicklung und Umsetzung kombinatorischer und sequentieller Logik (z. B. Addiernetz, Zähler, FlipFlops, Automaten)</li> <li>• Entwurf und Analyse eines digitalen Würfels und eines Parkplatzzählers</li> <li>• Umsetzung ausgewählter Versuche in VHDL und Übertragung auf FPGAs</li> <li>• Vergleich zwischen diskretem Aufbau und VHDL-Implementierung</li> <li>• Simulation, Testbenches und Debugging von digitalen Schaltungen</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktikumsanleitung „Labor Digitaltechnik“ (wird bereitgestellt)</li> </ul>
<p>Anmerkungen: Das Labor vertieft die in der Vorlesung vermittelten theoretischen Grundlagen durch praktische Anwendung. Der direkte Vergleich zwischen diskretem Schaltungsaufbau und VHDL-Implementierung auf FPGAs schafft ein tiefes Verständnis für den Entwurfsprozess digitaler Systeme. Die Studierenden erwerben grundlegende Fähigkeiten in Hardwarenahen Entwicklungswerkzeugen und stärken gleichzeitig ihre Team- und Problemlösungskompetenzen.</p>

#### 4.1.5 Informatik 1

<b>Informatik 1</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB150
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 1. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: inhaltlich keine, Kenntnisse in der Bedienung eines PCs werden vorausgesetzt
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
<p>Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden erwerben grundlegende Kenntnisse der Informatik und der Programmierung. Sie können einfache algorithmische Probleme analysieren, modellieren und in einer höheren Programmiersprache umsetzen.</p> <p><b>Fachliche Kompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden grundlegende Programmierkonstrukte (Variablen, Kontrollstrukturen, Arrays) an,</li> <li>• entwerfen und implementieren einfache objektorientierte Strukturen (Klassen, Objekte, Methoden),</li> <li>• nutzen grundlegende Datenstrukturen und Rekursion zur Problemlösung,</li> <li>• führen einfache Laufzeitanalysen mit dem O-Kalkül durch,</li> <li>• formulieren und analysieren Probleme mit Aussagenlogik und elementaren formalen Methoden (z. B. endliche Automaten).</li> </ul> <p><b>Methodische Kompetenzen:</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• entwickeln und testen kleine Programme mit geeigneten Entwicklungswerkzeugen,</li> <li>• wenden strukturierte Vorgehensweisen zur Fehlersuche und Qualitätssicherung an,</li> <li>• beurteilen die Effizienz und Korrektheit ihrer Lösungen.</li> </ul> <p><b>Sozial- und Selbstkompetenzen:</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• arbeiten selbstständig und im Team an Programmieraufgaben,</li> <li>• planen und reflektieren ihren Lern- und Arbeitsprozess,</li> <li>• dokumentieren und präsentieren Ergebnisse adressatengerecht.</li> </ul>
<p>Prüfungsleistungen: Informatik Grundlagen: Klausur, 120 Minuten Übungen Informatik 1 (Studienleistung): Die Übungen gelten als bestanden, wenn die Übungsblätter/ -projekte erfolgreich bearbeitet und testiert wurden.</p>

<b>Lehrveranstaltung: Informatik 1</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB151
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 4 SWS
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung in die Informatik und Programmierparadigmen</li> <li>• Aufbau, Syntax und Semantik höherer ProgrammiersprachenN (C++ / Python)</li> <li>• Grundlegende Programmierkonstrukte: Datentypen, Variablen, Operatoren, Kontrollstrukturen, Arrays</li> <li>• Funktionen, Parameterübergabe, Rekursion, Divide-and-Conquer</li> <li>• Objektorientierte Grundlagen: Klassen, Objekte, Methoden, Kapselung, einfache Vererbung</li> <li>• Einführung in grundlegende Datenstrukturen (z. B. Listen, Stacks, Queues)</li> <li>• Prinzipien der Softwarequalität: Modularisierung, Code-Konventionen, Dokumentation, Testen</li> <li>• Grundlagen der Laufzeitanalyse (O-Kalkül)</li> <li>• Formale Grundlagen: Aussagenlogik, Beweistechniken, formale Sprachen und endliche Automaten</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur/Entwicklungssoftware:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bjarne Stroustrup: The C++ Programming Language, 4. Aufl., Addison-Wesley, 2013.</li> <li>• Bernd Klein: Einführung in Python 3: Für Ein- und Umsteiger, 4. Aufl., Hanser, 2021.</li> <li>• D. W. Hoffmann: Theoretische Informatik, 5. Aufl., Hanser, 2022.</li> <li>• Michael Sipser: Introduction to the Theory of Computation, 3. Aufl., Cengage Learning, 2012.</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Übungen Informatik 1</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB152
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2 SWS
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Übungen, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementieren und Testen kleiner Programme zur Vertiefung der Vorlesungsinhalte</li> <li>• Praktische Übungen zu Variablen, Kontrollstrukturen und Arrays</li> <li>• Entwicklung objektorientierter Programme mit Klassen, Objekten und Methoden</li> </ul>

- Einsatz von Rekursion und Divide-and-Conquer-Verfahren in Programmieraufgaben
- Anwendung einfacher Datenstrukturen (Listen, Stacks, Queues)
- Debugging und Fehlersuche mit einer integrierten Entwicklungsumgebung (IDE)
- Nutzung von Versionsverwaltung und Testwerkzeugen
- Kleine praxisnahe Programmierprojekte in Kleingruppen

Empfohlene Literatur/Entwicklungssoftware:

- Siehe Vorlesung Informatik 1.
- PhyCharm, CLion

## 4.2 Semester 2

### Module Grundstudium

- Höhere Mathematik
- Atom- und Festkörperphysik
- Wechselstromtechnik
- Mikrocontroller
- Informatik 2

### 4.2.1 Höhere Mathematik

## Höhere Mathematik

<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB210
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Jürgen Weizenecker
Modulumfang (ECTS): 7 CP
Einordnung (Semester): 2. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Mathematik
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
<p>Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Teilnehmenden können mathematisch formulierte Sachverhalte lesen und interpretieren. Sie können die vermittelten Konzepte auf ihnen unbekannte Aufgaben anwenden indem Sie</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eigenwertprobleme erkennen und lösen</li> <li>2. Abbildungsmatrizen, Nullräume und Bildräume linearer Abbildungen bestimmen und interpretieren</li> <li>3. Matrix bzw. Determinantenregeln anwenden, um damit lineare Gleichungssysteme zu lösenden Begriff des Integrals erklären und unbekannte Integrale, sowie Typintegrale mit der Produktregel oder der Substitutionsregel lösen</li> <li>4. den Begriff des uneigentlichen Integrals erklären und Konvergenzregeln anwenden</li> <li>5. den Begriff der Zahlenreihe und der Funktionenreihe erklären und Konvergenzregeln anwenden</li> <li>6. Grenzfunktionen aus bekannten Funktionenreihen ermitteln</li> <li>7. Taylor- und Fourierreihen gegebener Funktionen ausrechnen und interpretieren</li> <li>8. Grenzwerte mittels Taylorreihen berechnen</li> <li>9. verschiedene Differentialgleichungen erster Ordnung erkennen und mittels der vorgestellten Methoden sicher lösen</li> </ol> <p>um die erlernten mathematischen Werkzeuge in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern und in der Praxis anwenden zu können.</p>
Prüfungsleistungen: Klausur, 120 Minuten

<b>Lehrveranstaltung: Höhere Mathematik</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB211
Dozierende(r): Prof. Dr. Stefan Ritter, Prof. Dr. Thomas Westermann, Prof. Dr. Jürgen Weizenecker und Lehrbeauftragte
Umfang (SWS): 6
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"><li>• Matrizen</li><li>• Lineare Abbildungen</li><li>• Eigenwertprobleme</li><li>• Integralrechnung</li><li>• uneigentliche Integrale</li><li>• Reihen</li><li>• Taylorreihen</li><li>• Fourierreihen</li><li>• Differentialgleichungen erster Ordnung</li></ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"><li>• T. Westermann: Mathematik für Ingenieure, Springer-Verlag</li><li>• L. Papula: Mathematik für Ingenieure, Vieweg-Verlag</li><li>• L. Papula: Mathematische Formelsammlung, Vieweg-Verlag</li><li>• G. Merziger, T. Wirth, D. Wille, G. Mühlbach: Formeln und Hilfen zur Höheren Mathematik, Binomi</li><li>• G. Merziger, T. Wirth: Repetitorium der höheren Mathematik, Binomi</li><li>• S. Goebbels, S. Ritter: Mathematik verstehen und anwenden, Spektrum</li><li>• Fetzner, H. Fränkel, D. Feldmann, H. Schwarz, W. Spatzek, S. Stief: Mathematik, Springer</li><li>• K. Meyberg, Vachenauer: Höhere Mathematik, Springer</li><li>• S. Goebbels, S. Ritter: Mathematik verstehen und anwenden, Spectrum</li></ul>

### 4.2.2 Atom- und Festkörperphysik

<b>Atom- und Festkörperphysik</b>
-----------------------------------

<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB220
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. A. Hanuschkin
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 2. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Grundkenntnisse der Mathematik und der Physik
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden verstehen die grundlegenden Prinzipien der Atom- und Festkörperphysik und können diese auf moderne Anwendungen, insbesondere im Bereich des Quantencomputings, übertragen.
<b>Fachliche Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenntnis der Struktur und Dynamik von Atomen und Molekülen</li> <li>• Verständnis der elektronischen, magnetischen und optischen Eigenschaften von Festkörpern</li> <li>• Grundlagen der Bandstruktur, Halbleiterphysik und Supraleitung</li> <li>• Einblick in topologische Materialien und deren Relevanz für Quantenbauelemente</li> </ul>
<b>Methodische Kompetenzen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interpretation experimenteller Daten aus der Festkörperphysik</li> <li>• Transfer physikalischer Konzepte auf technische Anwendungen im Quantencomputing</li> <li>• Anwendung einfacher quantenmechanischer Modelle zur Beschreibung physikalischer Systeme</li> </ul>
Prüfungsleistungen: Klausur, 120 Minuten

<b>Lehrveranstaltung: Atom- und Festkörperphysik</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB221
Dozierende(r): Prof. Dr. N.N.
Umfang (SWS): 4
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch

**Studieninhalte:**

- Entwicklung der Atomvorstellung
- Entwicklung der Quantenphysik
- Quantenstruktur der Atome
- Kristallstrukturen, Gitterdynamik und Phononen
- Elektronische Bänder, Halbleiter und Dotierung
- Magnetismus, Supraleitung
- Elektrische und magnetische Felder

**Empfohlene Literatur:**

- Demtröder: Experimentalphysik 3, Atome, Moleküle und Festkörper, 5. Auflage, Springer-Verlag, 2016
- Elliott: The Physics and Chemistry of Solids, Wiley, 1998

### 4.2.3 Wechselstromtechnik

<b>Wechselstromtechnik</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB230
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Alfons Klönne
Modulumfang (ECTS): 4 CP
Einordnung (Semester): 2. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse aus den Vorlesungen Gleichstromtechnik, Mathematik und Felder
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden können zeitveränderliche periodische Systeme im Zeit- und Frequenzbereich analysieren, berechnen indem sie:
<p><b>Fachliche Kompetenzen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• für periodische Signale die Mittel- und Effektivwerte berechnen</li> <li>• für periodische Sinussignale die komplexen Zeigerdarstellung ermitteln und die Lösung im Frequenzbereich suchen und in den Zeitbereich zurücktransformieren</li> <li>• Übertragungsfunktionen für lineare Systeme aufstellen und im Frequenzbereich als Bode-Diagramme darstellen</li> <li>• für hintereinandergeschaltete Verstärker die Bode-Diagramme konstruieren</li> <li>• Güte und Resonanz von RLC-Schwingkreisen berechnen können</li> <li>• Ströme, Spannungen und Leistungen im einphasigen stationären AC-Netz berechnen</li> <li>• Ströme, Spannungen und Leistungen im dreiphasigen symmetrischen und unsymmetrischen stationären Netz mit und ohne Sternpunkt berechnen</li> </ul>
<p><b>Methodische Kompetenzen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden beherrschen die Methodik um einfache elektrische Netze zu entwickeln, passive Filterschaltungen auszulegen und um allgemein für elektrische Systeme den praktischen Vorteil von Transformationen aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich zu erkennen.</li> </ul>
<p><b>Sozial- und Selbstkompetenzen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden können in einer Kleingruppe gemeinsam Laboraufgaben erarbeiten und umsetzen.</li> </ul>
Prüfungsleistungen:

Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) bewertet.

### Lehrveranstaltung: Wechselstromtechnik

EDV-Bezeichnung: QUCB231

Dozierende(r): Prof. Dr. Alfons Klönne, Prof. Dr. Rainer Merz, Prof. Dr. Sebastian Coenen

Umfang (SWS): 4

Turnus: Sommersemester

Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch

#### Studieninhalte:

- Periodische zeitabhängige Größen und deren Beschreibung im Komplexen
- Sinusförmige Schwingungen
- Lineare R,L,C-Elemente bei sinusförmiger Anregung
- Knoten- und Maschengleichungen bei komplexen Spannungen und Strömen
- Ströme und Spannungen und Leistungen in linearen Netzwerken bei sinusförmiger Anregung
- Netzwerke bei veränderlicher Frequenz
- Frequenzgang zusammenschalteter Vierpole
- Resonanz und Güte
- Leistungen im ein- und dreiphasigen Netz
- Dreiphasiges symmetrisches Netz mit symmetrischer und unsymmetrischer Last

#### Empfohlene Literatur:

- R. Ose: Elektrotechnik für Ingenieure: Grundlagen. Carl Hanser Verlag, 4. neu bearbeitete Auflage, März 2008, ISBN 3446411968
- J. Hoffmann, A. Klönne: Wechselstromtechnik: Anwendungsorientierte Simulationen in Matlab, Oldenbourg Verlag, Dez. 2011, ISBN-10: 3486709356
- W. Weißgerber: Elektrotechnik für Ingenieure – Klausurenrechnen, Vieweg+Teubner Verlag, 4., korr. Aufl. 2008., ISBN 3834805025
- Krause, M. und von Weiß, A: Allgemeine Elektrotechnik: Grundlagen der Gleich- und Wechselstromlehre. Vieweg+Teubner Verlag, 10. Aufl. 1987. ISBN 3528341858
- Clausert, Wiesemann, Hinrichsen, Stenzel: Grundgebiete der Elektrotechnik: Bd.2: Wechselströme, Drehstrom, Leitungen, Anwendungen der Fourier-, der Laplace- und der Z-Transformation, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, überarbeitete Auflage 2007. ISBN 3486576984
- Büttner, W.-E.: Grundlagen der Elektrotechnik 2. Oldenbourg Wissenschaftsverlag verbesserte Auflage 2009. ISBN 3486589814
- Nerreter, W.: Grundlagen der Elektrotechnik, Carl Hanser Verlag, 2., aktualisierte Auflage 2011. ISBN-10: 3446423850
- Albach, M.: Grundlagen der Elektrotechnik 2, Pearson Studium, 2., aktualisierte Auflage 2011, ISBN-10: 3868940804
- Frohne, Löcherer, Müller, Harriehausen, Schwarzenau: Moeller Grundlagen der Elektrotechnik, Vieweg+Teubner Verlag, 22., verb. Aufl. 2011. ISBN 3834808989
- Lindner, H.: Elektro-Aufgaben, Band 2: Wechselstrom, Carl Hanser Verlag, 23. Auflage 2006, ISBN 3446406921

- Führer, K. Heidemann, W. Nerretter: Grundgebiete der Elektrotechnik, Band 2: Zeitabhängige Vorgänge, Carl Hanser, München, 9. Aufl., 2011
- U. Tietze, Ch. Schenk: Halbleiter-Schaltungstechnik, Springer, Berlin, Heidelberg, 9. Aufl., 1990
- E. Hering, K. Bressler, J. Gutekunst: Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer, Berlin, Heidelberg, 5. Aufl., 2005
- M. Reisch: Elektronische Bauelemente, Springer, 2. Aufl., 2007
- E. Böhme, D. Ehrhardt, W. Oberschelp: Elemente der angewandten Elektronik, Springer/Vieweg, 16. Aufl. 2010
- W. Schmusch: Elektronische Messtechnik, Vogel, 6. Aufl. 2005

#### 4.2.4 Mikrocontroller

<b>Mikrocontroller</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB240
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Christian Langen
Modulumfang (ECTS): 7 CP
Einordnung (Semester): 2. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse aus den Vorlesungen Informatik Grundlagen, Digitaltechnik.
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen:  Die Studierenden können - befähigt durch die Kenntnis des Aufbaus und der Wirkungsweise von Computern (Rechnerarchitekturen) - deren Leistungsfähigkeit und Grenzen bewerten.  Dies befähigt sie, für gegebene Aufgabenstellungen gezielt dafür geeignete Plattformen auszuwählen und Lösungen für diese Aufgabenstellungen zu implementieren.  <b>Fachliche Kompetenzen</b> Die Studierenden kennen den Aufbau und die Leistungsmerkmale von Mikrocontroller-Architekturen und -systemen und können deren Eignung zur Lösung gegebener Problemstellungen im Bereich der Elektro- und Informationstechnik beurteilen.  <b>Methodische Kompetenzen:</b> Im Modul Mikrocontroller wird die Realisierung eingebetteter Systeme in der Kombination aus Hardware und hardwarenahe programmierter Software erlernt.  <b>Sozial- und Selbstkompetenzen:</b> Teambildung zur Lösung der Laboraufgaben, gleichzeitig Bildung von Selbstkompetenz (Zeit- und Arbeitsmanagement).
Prüfungsleistungen: Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden für die Vorlesung Mikrocontroller-Systeme werden anhand einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) bewertet. Die praktischen Fähigkeiten im Umgang mit dem Entwicklungssystem und die Ergebnisse der Laborversuche werden durch Kolloquien zu jedem Laborversuch bewertet (Studienleistung).
<b>Lehrveranstaltung: Mikrocontroller</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB241
Dozierende(r): Prof. Dr. Bernard Schmidt, Prof. Dr. Christian Langen
Umfang (SWS): 4

Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung – Embedded Systems und Mikrocontroller</li> <li>• Prozessor-Architekturen und -Befehlssätze</li> <li>• Programmierung in Assembler</li> <li>• ARM-Architektur</li> <li>• ARM-Organisation und -Implementierung</li> <li>• ARM-Befehlssatz</li> <li>• Architekturelle Unterstützung für Hochsprachen</li> <li>• Speicherhierarchie, Cache-Architekturen</li> <li>• Architekturelle Unterstützung für Betriebssysteme</li> <li>• Eigenschaften von Echtzeit-Betriebssystemen</li> <li>• General-Purpose-Ein- und -Ausgänge</li> <li>• Interrupts</li> <li>• Zeitgeber, Echtzeit-Uhren und Watchdog-Zeitgeber (Timer)</li> <li>• Pulsweitenmodulation (PWM)</li> <li>• Asynchrone und synchrone serielle Schnittstellen</li> <li>• Analog-Digital-Wandler</li> <li>• Controller Area Network (CAN)</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beierlein, Thomas; Hagenbruck, Olaf (Hrsg.): Taschenbuch Mikroprozessortechnik, Fachbuchverlag Leipzig, 4. Auflage 2011</li> <li>• Brinkschulte, Uwe; Ungerer, Theo: Mikrocontroller und Mikroprozessoren. Springer-Verlag, 3. Auflage 2010</li> <li>• Clements, Alan: Computer Organization and Architecture. Themes and Variations. CENGAGE Learning 2014</li> <li>• Cockerell, Peter: ARM Assembly Language Programming. M.T.C. 1987</li> <li>• Furber, Steve: ARM System-on-Chip Architecture. Addison-Wesley, 2000</li> <li>• Furber, Steve: ARM-Rechnerarchitekturen für System-on-Chip- Design. Mitp, 2002</li> <li>• Gibson, J. R.: ARM Assembly Language – an Introduction (Second Edition). J.R. Gibson 2011</li> <li>• Hohl, William; Hinds, Christopher: ARM Assembly Language. Fundamentals and Techniques. CRC Press Second Edition 2014</li> <li>• Labrosse, Jean J.: MicroC/OS-II, CMP Books, 2. Auflage 2002</li> <li>• Markstedter, Maria Azeria: ARM Assembly. Internals &amp; Reverse Engineering. Blue Fox Edition, Wiley 2023</li> <li>• Nenni, Daniel; Dingee, Don: Mobile Unleashed. The Origin and Evolution of ARM Processors In Our Devices. SemiWiki LLC 2015</li> <li>• Patterson, David A.; Hennesey, John L.: Computer Organization and Design. The Hardware/Software Interface. ARM Edition. Elsevier 2017</li> </ul>
<b>Lehrveranstaltung: Labor Mikrocontroller</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB242
Dozierende(r): Prof. Dr. Bernard Schmidt, Prof. Dr. Christian Langen

Umfang (SWS): 2
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Labor, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte: Versuche zu</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Computerarithmetik, Addition, Multiplikation, BCD-Addition</li> <li>• Modulare Programmierung, Verwendung von Unterprogrammen (Subroutinen), Verwendung des Stapelspeichers (Stack)</li> <li>• Tastensteuerung und Parallele Ein-/Ausgabe über Peripherieschnittstellen</li> <li>• Serielle Datenübertragung (RS232)</li> <li>• Hardwarenahe C-Programmierung,</li> <li>• Interrupts, Zeitgeber (Timer)</li> <li>• Konfiguration Analog/Digital-Wandler und Auswertung</li> <li>• Nebenläufigkeit zur Vorbereitung auf Multitasking</li> <li>• Anwendung eines Echtzeit-Betriebssystems</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beierlein, Thomas; Hagenbruck, Olaf (Hrsg.): Taschenbuch Mikroprozessortechnik, Fachbuchverlag Leipzig, 4. Auflage 2011</li> <li>• Brinkschulte, Uwe; Ungerer, Theo: Mikrocontroller und Mikroprozessoren. Springer-Verlag, 3. Auflage 2010</li> <li>• Clements, Alan: Computer Organization and Architecture. Themes and Variations. CENGAGE Learning 2014</li> <li>• Cockerell, Peter: ARM Assembly Language Programming. M.T.C. 1987</li> <li>• Furber, Steve: ARM System-on-Chip Architecture. Addison-Wesley, 2000</li> <li>• Furber, Steve: ARM-Rechnerarchitekturen für System-on-Chip- Design. Mitp, 2002</li> <li>• Gibson, J. R.: ARM Assembly Language – an Introduction (Second Edition). J.R. Gibson 2011</li> <li>• Hohl, William; Hinds, Christopher: ARM Assembly Language. Fundamentals and Techniques. CRC Press Second Edition 2014</li> <li>• Labrosse, Jean J.: MicroC/OS-II, CMP Books, 2. Auflage 2002</li> <li>• Markstedter, Maria Azeria: ARM Assembly. Internals &amp; Reverse Engineering. Blue Fox Edition, Wiley 2023</li> <li>• Nenni, Daniel; Dingee, Don: Mobile Unleashed. The Origin and Evolution of ARM Processors In Our Devices. SemiWiki LLC 2015</li> </ul> <p>Patterson, David A.; Hennesey, John L.: Computer Organization and Design. The Hardware/Software Interface. ARM Edition. Elsevier 2017</p>

## 4.2.5 Informatik 2

<b>Informatik 2</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB250
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 2. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse aus den dem Modul Informatik 2
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
<p>Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden vertiefen ihre Kenntnisse der Programmierung und erwerben ein grundlegendes Verständnis für Algorithmen und Datenstrukturen. Sie sind in der Lage, algorithmische Probleme zu analysieren, geeignete Lösungsverfahren auszuwählen und effizient zu implementieren.</p> <p><b>Fachliche Kompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verstehen grundlegende Algorithmen und elementare Datenstrukturen (z. B. Listen, Bäume, Hashtabellen, Graphen),</li> <li>• formulieren Algorithmen in Pseudocode und schätzen deren Zeit- und Speicheraufwand ab,</li> <li>• wählen für gegebene Problemstellungen geeignete Algorithmen und Datenstrukturen aus,</li> <li>• analysieren und begründen die Korrektheit einfacher Algorithmen,</li> <li>• kennen theoretische Grenzen der Berechenbarkeit (z. B. Turingmaschinen, NP-Vollständigkeit),</li> <li>• setzen ausgewählte Algorithmen praktisch in einer Programmiersprache um und bewerten deren Effizienz.</li> </ul> <p><b>Methodische Kompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden systematische Verfahren zur Analyse, Entwurf und Optimierung von Algorithmen an,</li> <li>• testen, vergleichen und dokumentieren Implementierungen,</li> <li>• nutzen Werkzeuge zur Entwicklungs- und Laufzeitanalyse,</li> <li>• strukturieren komplexe Problemstellungen in Teilprobleme und abstrahieren diese algorithmisch.</li> </ul> <p><b>Sozial- und Selbstkompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• arbeiten eigenständig und im Team an Programmieraufgaben,</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• planen und reflektieren den Entwicklungsprozess,</li> <li>• dokumentieren und präsentieren Ergebnisse adressatengerecht.</li> </ul>
<p>Prüfungsleistungen:          Informatik 2: Klausur, 120 Minuten          Übungen Informatik 2 (Studienleistung): Die Übungen gelten als bestanden, wenn die Übungsblätter/ -projekte erfolgreich bearbeitet und testiert wurden.</p>

<b>Lehrveranstaltung: Informatik 2</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB251
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 4
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung in das algorithmische Problemlösen und die Analyse von Algorithmen</li> <li>• Formulierung von Algorithmen in Pseudocode, Ablaufdiagrammen und Programmiersprachen</li> <li>• Grundlegende Datenstrukturen: Arrays, Listen, Stacks, Queues, Bäume, Hashtabellen, Graphen</li> <li>• Zentrale Algorithmen: Suchverfahren (linear, binär, Hash-basierte Suche), Sortierverfahren (Insertion-, Merge-, Quick-Sort), Traversierungen und Graphalgorithmen (DFS, BFS, kürzeste Wege)</li> <li>• Rekursive und iterative Lösungsansätze</li> <li>• Analyse von Laufzeit- und Speicherkomplexität (Big-O-Notation)</li> <li>• Nachweis der Korrektheit einfacher Algorithmen</li> <li>• Einführung in theoretische Konzepte: Turingmaschinen, Entscheidbarkeit, NP-Vollständigkeit</li> <li>• Vergleich von Implementierungsstrategien und Effizienz</li> <li>• Diskussion praktischer Anwendungen (z. B. Suchen, Planen, Sortieren, Netzwerke)</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein: Introduction to Algorithms, 3. Aufl., MIT Press, 2009.</li> <li>• Robert Sedgewick: Algorithms in C++, Parts 1-4: Fundamentals, Data Structure, Sorting, Searching, 3. Aufl., Pearson, 1998.</li> <li>• Robert Sedgewick, Algorithms in C++, Part 5: Graph Algorithms, 3. Aufl., Pearson, 2001.</li> <li>• D. W. Hoffmann: Theoretische Informatik, 5. Aufl., Hanser, 2022.</li> <li>• Michael Sipser: Introduction to the Theory of Computation, 3. Aufl., Cengage Learning, 2012.</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Übungen Informatik 2</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB252

Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Übungen, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"><li>• Implementierung und Test zentraler Algorithmen (Such-, Sortier- und Graphverfahren)</li><li>• Anwendung und Vergleich verschiedener Datenstrukturen</li><li>• Analyse von Laufzeiten durch Messung und Profiling</li><li>• Praktische Belege zur Korrektheit und Effizienz von Implementierungen</li><li>• Bearbeitung komplexerer Aufgabenstellungen im Team</li><li>• Abschlussprojekt: Entwicklung einer kleinen Anwendung unter Nutzung geeigneter Datenstrukturen</li></ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"><li>• Siehe Vorlesung Informatik 2</li></ul>

## 4.3 Semester 3

- Technische Mathematik
- Quantenmechanik
- Elektronik
- Signale und Systeme
- Software Engineering und verteilte Systeme

### 4.3.1 Technische Mathematik

<b>Technische Mathematik</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB310
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Jürgen Weizenecker
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 3. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Höhere Mathematik 1 und 2, Elektrotechnik 1 und 2, Programmieren
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Teilnehmenden können lineare Differenzialgleichungen höherer Ordnung und Differenzialgleichungssysteme erkennen, formulieren und sicher lösen, sowie die Differenzial- und Integralrechnung mehrerer Variablen auf mehrdimensionale Probleme anwenden, indem Sie <ol style="list-style-type: none"> <li>1) lineare Differentialgleichungen für elektrotechnische Probleme formulieren</li> <li>2) lineare Differentialgleichungen n-ter Ordnung lösen</li> <li>3) Hauptvektoren einer Matrix berechnen</li> <li>4) Differentialgleichungssysteme formulieren und lösen</li> <li>5) die Konzepte der Differentialrechnung für Funktionen mehrerer Variablen erklären und anwenden</li> <li>6) Extremwertaufgaben für praktische Probleme formulieren und mit bzw. ohne Nebenbedingung lösen</li> <li>7) Gebietsintegrale, Linienintegrale und Oberflächenintegrale berechnen und für einen technischen Kontext interpretieren</li> <li>8) Die Begriffe der Vektoranalysis interpretieren und anwenden</li> <li>9) Integralsätze anwenden, die Ergebnisse interpretieren und auf die Elektrodynamik anwenden</li> </ol> um die erlernten mathematischen Werkzeuge in den ingenieurwissenschaftlichen Fächern und in der Praxis anwenden zu können.
Prüfungsleistungen: Klausur, 120 Minuten, Die praktischen Fähigkeiten im Umgang mit Simulationsaufgaben werden durch Kolloquien bewertet (Studienleistung).

<b>Lehrveranstaltung: Höhere Mathematik 3</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB311
Dozierende(r): Prof. Dr. Jürgen Weizenecker
Umfang (SWS): 4
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineare Differentialgleichungen n-ter Ordnung</li> <li>• Systeme linearer Differentialgleichungen</li> <li>• Differenzialrechnung für Funktionen von mehreren reellen Variablen</li> <li>• Extremwertaufgaben mehrerer Variablen</li> <li>• Gebietsintegrale (Ebene, Raum), Linienintegrale, Oberflächenintegrale</li> <li>• Integralsätze und Vektoranalysis</li> </ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Burg, C.; Haf, H.; Wille, F.: <i>Höhere Mathematik für Ingenieure Bd. 1-3</i>, Vieweg-Teubner</li> <li>• Dürrschnabel, K.: <i>Mathematik für Ingenieure</i>, Vieweg-Teubner</li> <li>• Goebbels, S. und S. Ritter.: <i>Mathematik verstehen und Anwenden</i>, Springer-Spektrum, 2013, 2. Auflage</li> <li>• Kreyszig, E.: <i>Advanced Engineering Mathematics</i>, Wiley</li> <li>• Meyberg, K. und Vachenauer, P.: <i>Höhere Mathematik 1</i>, Springer</li> <li>• Papula, L.: <i>Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler Bd. 1-4</i>, Vieweg-Teubner</li> <li>• Stingl, P.: <i>Mathematik für Fachhochschulen</i>, Hanser</li> <li>• Westermann, Thomas: <i>Mathematik für Ingenieure</i>, Springer</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Modellbildung und Simulation</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB312
Dozierende(r): Prof. Dr. Thomas Köller
Umfang (SWS): 2
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Labor, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulationsaufgaben zur Aufstellung und Lösung von nichtlinearen, gewöhnlichen Differentialgleichungen (ODE)</li> <li>• Verwendung der Simulationswerkzeuge Python und OpenModelica</li> <li>• Modellerstellung in Zustandsform</li> <li>• Übungen zum Umgang mit differential algebraischen Gleichungen (DAE) im Vergleich zu ODE's</li> <li>• Umgang mit Unstetigkeiten beim Lösen von ODE's und DAE's</li> </ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiller, M.: <i>Modelica by Example</i>, Online: <a href="https://mbe.modelica.university/">https://mbe.modelica.university/</a></li> <li>• N.N.: <i>Scipy Lecture Notes</i>, Online: <a href="http://scipy-lectures.org/">http://scipy-lectures.org/</a></li> </ul>

### 4.3.2 Quantenmechanik

<b>Quantenmechanik</b>
------------------------

<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB320
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. J. Weizenecker
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 3. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Module Experimental-, Atom- und Festkörperphysik sowie Mathematik 1 und 2
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden beherrschen die mathematischen und konzeptionellen Grundlagen der Quantenmechanik, können diese auf quantenmechanische Probleme anwenden und konkrete Probleme berechnen. Sie sind mit den grundlegenden Fragestellungen des Quantencomputings vertraut.
<b>Fachliche Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verständnis der Postulate der Quantenmechanik und deren mathematische Formulierung</li> <li>• Kenntnis der Schrödinger-Gleichung, Operatoren, Eigenwerte und Eigenzustände</li> <li>• Beherrschung der Quantisierung von Drehimpuls, Spin und anderen Observablen</li> <li>• Grundlagen der Quanteninformationstheorie (Qubits, Verschränkung, Messung)</li> </ul>
<b>Methodische Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lösung der Schrödinger-Gleichung für einfache Potenziale (z. B. Potentialtopf, harmonischer Oszillator)</li> <li>• Interpretation von Zuständen und deren Wahrscheinlichkeitsamplituden</li> <li>• Anwendung der Störungstheorie</li> <li>• Modellierung quantenmechanischer Systeme mit Relevanz für Quantenalgorithmen</li> </ul>
Prüfungsleistungen: Klausur / 120 Minuten

<b>Lehrveranstaltung: Quantenmechanik</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB321
Dozierende(r): Prof. Dr. J. Weizenecker
Umfang (SWS): 4
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch

Studieninhalte:

- Experimente zur QM
- Axiome der QM und mathematische Grundlagen, Zustände Operatoren
- Schrödingergleichung, stationär und zeitabhängig
- Teilchen in Potentialen, gebundene Zustände
- Drehimpuls, Spin
- Dichtematrix
- Störungstheorie
- Mehrteilchensysteme, Verschränkung
- Quanteninformation

Empfohlene Literatur:

- Cohen-Tannoudji C. , Diu B., Laloë F., Quantenmechanik, Buchreihe De Gruyter
- Schwabl F., Quantenmechanik, Springer
- McIntyre D.H. Quantum Mechanics, Cambridge University Press
- Shankar R., Principles of Quantum Mechanics, Kluwer Academic
- Nielsen M.A., Chuang I.L., Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge University Press

### 4.3.3 Elektronik

<b>Elektronik</b>
-------------------

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB330
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Hermann Jalli Ng
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 3. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse der Module Gleichstromtechnik und Wechselstromtechnik sowie Mathematik 1 und 2
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Teilnehmenden können gegebene elektronische Schaltungen analysieren und deren Eigenschaften qualitativ und quantitativ beschreiben sowie einfache elektronische Schaltungen entwerfen, die eine vorgegebene Funktion erfüllen, indem sie <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Eigenschaften von Halbleitermaterialien sowie die Kennlinien von Dioden, Bipolar- und Feldeffekttransistoren kennen und daraus das Verhalten der Bauteile in elektronischen Schaltungen ableiten,</li> <li>• Dioden und Transistoren durch deren Ersatzschaltbilder darstellen,</li> <li>• Kleinsignalparameter zur Beschreibung von Verstärkerschaltungen anwenden,</li> <li>• vorgegebene komplexe Schaltungen auf bekannte Grundschaftungsblöcke zurückführen,</li> <li>• durch Kombination von Grundschaftungen Schaltungen geforderter Funktionalität entwerfen</li> </ul> um ein grundlegendes Verständnis der Halbleiterschaltungstechnik zu entwickeln.
Prüfungsleistungen: Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) bewertet. Die praktischen Fähigkeiten im Umgang mit den Messmitteln und den Laborversuchen werden durch Kolloquien während der Labortermine und durch schriftliche Berichte zu jedem Laborversuch überprüft (Studienleistung).

Lehrveranstaltung: Elektronik
EDV-Bezeichnung: QUCB331
Dozierende(r): Prof. Dr. Hermann Jalli Ng
Umfang (SWS): 4
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch

**Studieninhalte:**

- Grundlagen der Halbleiterphysik
- Dioden: Aufbau und Wirkungsweise, Kennlinienfelder, Modellierung
- Rechnen mit Dioden, graphisches und iteratives Lösungsverfahren, Ersatzschaltbilder
- Bipolartransistoren: Aufbau und Wirkungsweise, Kennlinienfelder, Modellierung
- Feldeffekttransistoren: Aufbau und Wirkungsweise, Kennlinienfelder, Modellierung
- Rechnen mit Transistoren, Vorgehensweise bei Analyse Transistorschaltungen, Ersatzschaltbilder
- Kleinsignalanalyse, Kleinsignalersatzschaltbilder und Kleinsignalparameter
- Transistorgrundschaltungen: Schaltungseigenschaften, Verstärkermodelle, Verstärkerparameter, Arbeitspunktberechnung
- Mehrstufige und rückgekoppelte Verstärker, Miller-Theorem, Frequenzgang
- Differenzstufen: Eigenschalten, Aussteuergrenzen, Gleichtaktspannungsunterdrückung
- CMOS-Schaltungstechnik: Technologie, Logikgatter, Schalter
- Elektronik in Anwendungen: Hochvolt-Schalter, Ladungspumpen, Spannungsstabilisierung, Stromquellen und Stromspiegel

**Empfohlene Literatur:**

- S. SEDRA, Kenneth C. SMITH: Microelectronic Circuits, 7th Edition, Oxford University Press, New York, 2015
- Paul R. GRAY, Robert G. MEYER: Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York, 2001
- Tietze, U.; Ch. Schenk; E. Gamm: Halbleiter-Schaltungstechnik, 16. Auflage, Springer Vieweg, Berlin; Heidelberg, 2019
- Holger Göbel: Einführung in die Halbleiterschaltungstechnik, 6. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, 2019
- W. Friedrich Oehme, Mario Huemer, Markus Pfaff, Elektronik und Schaltungstechnik, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2012

**Lehrveranstaltung: Labor Elektronik**

EDV-Bezeichnung: QUCB332

Dozierende(r): Prof. Dr. Hermann Jalli Ng, Dr. Thomas Münch

Umfang (SWS): 2

Turnus: Wintersemester

Art, Modus: Labor, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch

**Studieninhalte:**
**Versuche zu:**

- Simulationswerkzeuge, Simulationsarten, Spice-Parameter, statische und dynamische Eigenschaften von Schaltungen
- Messung der Transistorkennlinien und Untersuchung der elektrischen Parameter, Untersuchung der Betriebsbereiche (Sperrbetrieb, Sättigung und aktiver Betrieb)
- Aufbau und Untersuchung verschiedener Transistorgrundschaltungen und Verstärker, Charakterisierung der Klemmenverhalten und Frequenzgangmessung

- Einstellbarer Rückgekoppelter Verstärker, Stromquellen und Differenzstufe als Eingangsstufe des Operationsverstärkers
- CMOS-Schaltungen und Elektronik in Anwendungen: CMOS-Logikgatter, CMOS-Schalter, Ladungspumpe mit Einstellbarem Oszillator

## Empfohlene Literatur:

- S. SEDRA, Kenneth C. SMITH: Microelectronic Circuits, 7th Edition, Oxford University Press, New York, 2015
- Tietze, U.; Ch. Schenk; E. Gamm: Halbleiter-Schaltungstechnik, 16. Auflage, Springer Vieweg, Berlin; Heidelberg, 2019

### 4.3.4 Signale und Systeme

<b>Signale und Systeme</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB340
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Serdal Ayhan
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 3. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse aus den Vorlesungen Mathematik 1 + 2, Physik, Gleich- und Wechselstrom-technik.
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: <b>Übergeordnetes Ziel:</b> Entwicklung eines interdisziplinäres Systemverständnis, um dynamische Systeme erfassen, regeln und simulieren zu können.  <b>Fachliche Kompetenzen</b> Die Teilnehmenden können lineare, zeitinvariante Systeme im Zeit-, Laplace- und Frequenzbereich beschreiben und analysieren, indem sie <ul style="list-style-type: none"> <li>• Signale im Zeitbereich mit mathematischen Funktionen beschreiben</li> <li>• die Laplace-Transformation auf zeitkontinuierliche Signale anwenden</li> <li>• Systemeigenschaften an Impulsantworten und Übertragungsfunktionen ablesen</li> <li>• Spektren von Energie- und Leistungssignalen bestimmen</li> <li>• Bode-Diagramme von linearen, zeitinvarianten Systemen konstruieren und interpretieren</li> </ul> <b>Methodische Kompetenzen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abstraktionsfähigkeit <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Übertragung physikalischer Phänomene auf mathematische Modelle</li> <li>◦ Fähigkeit zur Vereinfachung komplexer Probleme durch Modellbildung</li> </ul> </li> <li>• Analytisches und strukturiertes Denken <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Zerlegen komplexer Aufgabenstellungen in Teilprobleme</li> <li>◦ Strukturierte Bearbeitung von Übungsaufgaben</li> </ul> </li> <li>• Problemlösungskompetenz <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Auswahl geeigneter mathematischer Werkzeuge je nach Problemstellung</li> <li>◦ Entwickeln von Lösungsstrategien bei unbekanntem oder neuen Problemstellungen</li> <li>◦ Reflexion und Überprüfung von Rechenergebnissen auf Plausibilität</li> </ul> </li> <li>• Visualisierungskompetenz <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Erstellung und Interpretation von Diagrammen</li> <li>◦ Visuelle Aufbereitung von Signalverläufen und Systemantworten zur Ergebnisinterpretation</li> </ul> </li> <li>• Transferfähigkeit <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Übertragung der theoretischen Konzepte auf praktische Anwendungen</li> </ul> </li> </ul>

- Verknüpfung von Vorlesungsinhalten mit anderen Fachgebieten (z. B. digitale Signalverarbeitung, Regelungstechnik)

**Sozial- und Selbstkompetenzen:**

**Sozialkompetenzen:**

- Teamfähigkeit
  - Effektive Zusammenarbeit bei Übungsaufgaben und im Tutorium
- Kooperationsbereitschaft
  - Gegenseitige Unterstützung beim Verständnis komplexer Themen
- Kommunikationsfähigkeit
  - Fähigkeit, komplexe mathematische Zusammenhänge verständlich zu erklären

**Selbstkompetenzen**

- Selbstständigkeit
  - Eigenständiges Erarbeiten von Vorlesungsinhalten, insbesondere bei mathematisch geprägten Themen
- Selbstorganisation
  - Eigenverantwortliche Planung von Lernzeiten zur regelmäßigen Nachbereitung komplexer Inhalte
- Lern- und Transferfähigkeit
  - Fähigkeit, erlernte Methoden (z.B. Fourier-Transformation, Systemantwort) auf neue Problemstellungen zu übertragen
- Zielstrebigkeit und Durchhaltevermögen
  - Ausdauer beim Lösen anspruchsvoller Aufgabenstellungen und bei umfangreichen Berechnungen
  - Motivation zur Überwindung von Lernhürden durch systematisches Vorgehen
- Sorgfalt und Genauigkeit
  - Präzises Arbeiten, besonders bei mathematischen Herleitungen
  - Aufmerksamere Umgang mit Rechenwegen zur Fehlervermeidung

Prüfungsleistungen: Klausur, 120 Minuten

Studienleistungen: Take Home Exam zu den Ethische Grundsätzen des Ingenieurberufs

**Lehrveranstaltung: Signale und Systeme**

EDV-Bezeichnung: QUCB341

Dozierende(r): Prof. Dr. Serdal Ayhan, Prof. Dr. Manfred Strohmman

Umfang (SWS): 3

Turnus: Wintersemester

Art, Modus: Vorlesung mit integrierten Übungen, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch

**Studieninhalte:**

- Signale im Zeitbereich, Signalalgebra, Impulsfunktion
- Systeme im Zeitbereich, Differentialgleichung, Systemeigenschaften, Impulsantwort, Faltung
- Signale im Laplace-Bereich, Laplace-Transformation

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeme im Laplace-Bereich, Übertragungsfunktion, Ein- und Umschaltvorgänge</li> <li>• Spektrum von Signalen, Fourier-Reihe, Fourier-Transformation</li> <li>• Frequenzgang von Systemen</li> <li>• Grundlagen des Filterentwurfs</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weber, Hubert: Laplace-, Fourier- und z-Transformation, Springer Vieweg, Wiesbaden 2011</li> <li>• Girod, Bernd: Einführung in die Systemtheorie, Vieweg+Teubner, Stuttgart, 2008, 4. Auflage</li> <li>• Werner, Martin: Signale und Systeme, Springer Vieweg, Wiesbaden 2008, 3. Auflage</li> <li>• Meyer, Martin: Signalverarbeitung, Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, 7. Auflage</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Ethische Grundsätze des Ingenieurberufs</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB342
Dozierende(r): NN
Umfang (SWS): 1
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Seminar, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verantwortung und Haftung im Ingenieurberuf</li> <li>• Ethische Dilemmata und Loyalitätskonflikte (z. B. Sicherheit vs. Wirtschaftlichkeit)</li> <li>• Berufsethische Grundsätze und Normen (VDI-Richtlinien, VDE-Normen)</li> <li>• Gesellschaftliche Auswirkungen technischer Entscheidungen</li> <li>• Nachhaltigkeit, Umweltverträglichkeit und Ressourcenverantwortung</li> <li>• Datenschutz, Privatsphäre und digitale Ethik</li> <li>• Fallbeispiele aus der Praxis (z. B. Challenger-Katastrophe, Dieselgate)</li> <li>• Rolle des Ingenieurs in der Gesellschaft und bei der Technologiegestaltung</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• VDI_Ethische_Grundsätze_des_Ingenieurberufs.pdf.</li> <li>• Armin Grunwald, Rafaela Hillerbrand (Hg.): Technikethik, J.B. Metzler Stuttgart, 2021, 2. Auflage</li> <li>• Ziad Mahayni (Hg.): Ethische Fragen im Digitalen Zeitalter, 1 ethische Fragen im 21. JH., AISTHESIS VERLAG, Bielefeld 2025</li> </ul>

### 4.3.5 Software Engineering und Verteilte Systeme

<b>Software Engineering und Verteilte Systeme</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB350
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 3. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse aus den Modulen Informatik 1 und 2
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
<p>Lernergebnisse und Kompetenzen</p> <p>Die Studierenden vertiefen ihre Kenntnisse der Softwareentwicklung und erlernen Methoden zum systematischen Entwurf, zur Implementierung und zum Betrieb verteilter Systeme. Sie sind in der Lage, Softwareprojekte strukturiert zu planen, im Team umzusetzen und deren Qualität zu sichern.</p> <p><b>Fachliche Kompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• analysieren und strukturieren Softwareprojekte nach etablierten Vorgehensmodellen,</li> <li>• wenden agile Methoden (z. B. Scrum) und klassische Entwicklungsprozesse sicher an,</li> <li>• modellieren und dokumentieren Softwarestrukturen mit UML,</li> <li>• entwerfen und implementieren Architekturen verteilter Systeme unter Berücksichtigung von Modularität, Kommunikation, Fehlertoleranz, Replikation und Sicherheit,</li> <li>• nutzen aktuelle Plattformen, Frameworks und Tools zur Entwicklung und Integration von Softwarekomponenten.</li> </ul> <p><b>Methodische Kompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden iterative Entwicklungsprozesse und Versionskontrolle in Teamprojekten an,</li> <li>• nutzen Werkzeuge für Modellierung, Build-Automatisierung, Test und Deployment,</li> <li>• reflektieren Architekturentscheidungen im Hinblick auf Wartbarkeit, Skalierbarkeit und Sicherheit,</li> <li>• dokumentieren und präsentieren Projektergebnisse adressatengerecht.</li> </ul> <p><b>Sozial- und Selbstkompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• arbeiten kooperativ in Entwicklungsteams,</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>übernehmen Verantwortung für Teilaufgaben und Zeitmanagement im Projektkontext,</li> <li>kommunizieren effektiv in technischen und organisatorischen Fragestellungen,</li> <li>entwickeln Selbstorganisation und Problemlösungsfähigkeit in agilen Teams.</li> </ul>
<p>Prüfungsleistungen:</p> <p>Software Engineering und Verteilte Systeme: Klausur, 120 Minuten</p> <p>Labor Software Engineering und Verteilte Systeme (Studienleistung): Das Labor gilt als bestanden, wenn die Projekte erfolgreich bearbeitet und testiert wurden.</p>

<b>Lehrveranstaltung: Software Engineering und Verteilte Systeme</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB351
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 4
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen des Software Engineering: Lebenszyklus, Vorgehensmodelle, Rollen und Artefakte</li> <li>Klassische und agile Entwicklungsprozesse (Wasserfall, V-Modell, Scrum, Kanban)</li> <li>Anforderungsanalyse, Use Cases, Pflichtenheft, User Stories</li> <li>Modellierung mit UML: Anwendungsfall-, Klassendiagramme, Sequenz- und Zustandsdiagramme</li> <li>Softwarearchitekturen: Schichten-, Komponenten- und Serviceorientierung</li> <li>Grundlagen verteilter Systeme: Kommunikationsmodelle, Synchronisation, Fehler-toleranz</li> <li>Konzepte der Parallelität, Replikation und Konsistenz</li> <li>Grundlagen der Netzwerksicherheit und Zugriffskontrolle</li> <li>Qualitätssicherung: Tests, Reviews, Continuous Integration / Continuous Deployment</li> <li>Einführung in aktuelle Frameworks (z. B. Spring Boot, REST, gRPC, Docker)</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ian Sommerville: Software Engineering, 10. Aufl., Pearson, 2018.</li> <li>Craig Larman: Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development, 3. Aufl., Pearson, 2004.</li> <li>Bernd Oestereich: Analyse und Design mit UML 2.1: Objektorientierte Softwareentwicklung, 8. Aufl., Oldenbourg, 2006.</li> <li>Ken Schwaber, Jeff Sutherland: The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum, Scrumguides.org, 2020.</li> <li>Gen Kim, Jez Humble, Patrick Debois, John Willis: Das DevOps-Handbuch: Teams, Tools und Infrastrukturen erfolgreich umgestalten, O'Reilly, 2017.</li> <li>Ivar Jacobson, Grady Booch, James Rumbaugh: The Unified Software Development Process, Addison-Wesley, 1999.</li> <li>Andre S. Tanenbaum, Maarten van Steen: Verteilte Systeme: Prinzipien und Paradigmen, 2. Aufl., Pearson, 2007.</li> </ul>

- Georg Coulouris, Jean Dollimore, Tim Kindberg, Gordon Blair: Distributed Systems: Concepts and Design, 5. Aufl., Addison-Wesley, 2011.

<b>Lehrveranstaltung: Labor Software Engineering und Verteilte Systeme</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB352
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Übungen, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<b>Studieninhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktische Umsetzung der Vorlesungsinhalte in iterativen Entwicklungsprojekten</li> <li>• Teamarbeit mit Versionsverwaltung (GIT) und agiler Aufgabenplanung (Scrum / Kanban-Board)</li> <li>• Entwurf und Implementierung einer verteilten Beispielanwendung (z. B. Client-Server- oder Microservice-Architektur)</li> <li>• Nutzung moderner Frameworks und APIs (z. B. REST, WebSockets, MQTT)</li> <li>• Anwendung von Build-, Test- und Deployment-Werkzeugen (Gradle, JUnit, Docker, CI/CD-Pipeline)</li> <li>• Automatisierte Tests, Code-Reviews und Dokumentation</li> <li>• Präsentation und Reflexion der Projektergebnisse</li> </ul>
<b>Empfohlene Literatur:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Siehe Vorlesung Software Engineering und Verteilte Systeme</li> </ul>

## 4.4 Semester 4

- Architekturen von Quantencomputern
- Quantenoperationen und -algorithmen
- Zufallsprozesse in der Quantenmechanik
- Schnittstellen zu Quantencomputern
- Wahlpflichtfach 1

#### 4.4.1 Architekturen von Quantencomputern

<b>Architekturen von Quantencomputern</b>
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB410
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 4. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Quantenmechanik
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden verstehen die grundlegenden Prinzipien und technischen Herausforderungen verschiedener Quantencomputer-Architekturen und können deren Eignung für spezifische Anwendungen bewerten.
<b>Fachliche Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenntnis der physikalischen Grundlagen verschiedener Qubit-Implementierungen (z. B. supraleitende Qubits, Ionenfallen, topologische Qubits, Photonik)</li> <li>• Verständnis der Skalierbarkeit, Fehlerkorrektur und Dekohärenz in Quantenprozessoren</li> <li>• Überblick über aktuelle Hardware-Plattformen und deren Architekturkonzepte</li> <li>• Grundlagen der Quanten-Gatter, Schaltkreise und Algorithmen-Implementierung</li> <li>• Transpiling für verschiedene Architekturen</li> </ul>
<b>Methodische Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse und Vergleich von Quantencomputer-Architekturen hinsichtlich Performance, Fehlerraten und Skalierbarkeit</li> <li>• Bewertung von Hardware-Anforderungen für spezifische Quantenalgorithmen</li> <li>• Interpretation von Forschungsliteratur und technischen Spezifikationen</li> <li>• Anwendung von Simulationswerkzeugen zur Modellierung von Quantenprozessoren</li> </ul>
Prüfungsleistungen: Klausur, 120 Minuten,

<b>Lehrveranstaltung: Architekturen von Quantencomputern</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB411
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 4
Turnus: Sommersemester

Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Physikalische Realisierungen von Qubits und deren Eigenschaften</li> <li>• Grundlagen der Quantenfehlerkorrektur und Fehlerresistenz</li> <li>• Architekturkonzepte: Gatter-basierte vs. adiabatische Quantencomputer</li> <li>• Hybrid-Architekturen (Quantenklassische Systeme)</li> <li>• Herausforderungen der Skalierung und Integration in bestehende IT-Infrastrukturen</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bronstein, Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik. Springer-Verlag, 2020.</li> </ul>

#### 4.4.2 Quantenoperationen und -algorithmen

### Quantenoperationen und -algorithmen

#### Modulübersicht

EDV-Bezeichnung: QUCB420

Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN

Modulumfang (ECTS): 6 CP

Einordnung (Semester): 4. Semester

Inhaltliche Voraussetzungen:  
Module Quantenmechanik sowie Informatik 1 und 2

Voraussetzungen nach SPO:  
Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.

#### Fachkompetenzen:

Die Studierenden

- verstehen die mathematischen und physikalischen Grundlagen der Quanteninformation,
- können Zustände und Operationen von Qubits mithilfe der linearen Algebra formal beschreiben,
- kennen die wichtigsten Quanten-Gatter und deren Matrixdarstellungen,
- verstehen das Prinzip der Quantenparallelität und der Interferenz,
- kennen Aufbau und Wirkungsweise zentraler Quantenalgorithmen (z. B. Deutsch-Jozsa, Grover, Shor, QFT, QAOA),
- verstehen grundlegende Konzepte zur Realisierung, Fehlerkorrektur und Fehlertoleranz in Quantencomputern.

#### Methoden- und Handlungskompetenzen:

Die Studierenden

- können Quantenoperationen und -algorithmen mit geeigneten Frameworks (z. B. Qiskit, Cirq) modellieren, simulieren und testen,
- analysieren die Komplexität, Robustheit und Skalierbarkeit von Quantenalgorithmen,
- bewerten die Grenzen realer Quantenhardware und die Auswirkungen von Rauschen und Fehlerraten,
- wenden die erlernten Konzepte und Methoden auf neue Problemstellungen an, dokumentieren und präsentieren ihre Ergebnisse adressatengerecht.

#### Sozial- und Selbstkompetenzen:

Die Studierenden

- arbeiten eigenverantwortlich und zielorientiert an theoretischen und praktischen Aufgaben,
- reflektieren den eigenen Lernprozess und entwickeln Strategien zur selbstständigen Wissensvertiefung,
- kooperieren im Team bei der Entwicklung, Umsetzung und Diskussion von Quantenalgorithmen,

<ul style="list-style-type: none"> <li>• kommunizieren technische Sachverhalte präzise und interdisziplinär verständlich,</li> <li>• erkennen die Grenzen aktueller Technologien und setzen sich kritisch mit deren ethischen und gesellschaftlichen Auswirkungen auseinander.</li> </ul>
<p>Prüfungsleistungen:                  Quantenoperationen und -algorithmen: Klausur, 120 Minuten                  Labor Quantenoperationen und -algorithmen: das Labor gilt als bestanden, wenn die Projekte erfolgreich bearbeitet und testiert wurden.</p>

<b>Lehrveranstaltung: Quantenoperationen und -algorithmen</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB421
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 4
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Quanteninformation: Zustände, Superposition, Verschränkung, Messungen</li> <li>• Mathematische Beschreibung von Qubits und Quantenoperationen (Dirac-Notation, Matrizen, Tensorprodukte)</li> <li>• Ein- und Mehrqubit-Gatter: Pauli, Hadamard, Phase, CNOT, Toffoli</li> <li>• Universelle Gatemenge und Realisierung von Operationen durch Gate-Decomposition</li> <li>• Quantenparallelismus, Interferenz und Messwahrscheinlichkeiten</li> <li>• Wichtige Quantenalgorithmen: Deutsch-Jozsa-Algorithmus, Grover-Suchalgorithmus, Shor-Faktorisierungsalgorithmus, Quantum Fourier Transform (QFT) und Phase Estimation</li> <li>• Überblick über aktuelle Quantenhardware und Ausführungsmodelle</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eleanor Rieffel, Wolfgang Polak: Quantum Computing: A Gentle Introduction, MIT, 2014.</li> <li>• Arthur O. Pittenger: An Introduction to Quantum Computing Algorithms, Birkhäuser, 1999.</li> <li>• Michael A. Nielsen, Isaac L. Chuang: Quantum Computation and Quantum Information, Cambridge, 2010.</li> <li>• Richard J. Lipton, Kenneth W. Regan: Quantum Algorithms via Linear Algebra: A Primer, MIT, 2014.</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Labor Quantenoperationen und -algorithmen</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB422
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2
Turnus: Sommersemester

Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Studieninhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzung grundlegender Quantenoperationen in Simulationsumgebungen (z. B. Qiskit, Cirq)</li> <li>• Aufbau und Simulation einfacher Quanten-Schaltkreise</li> <li>• Analyse der Messergebnisse und Einfluss von Rauschen</li> <li>• Implementierung und Vergleich klassischer und quantenbasierter Algorithmen</li> <li>• Teamorientierte Bearbeitung kleinerer Projektaufgaben (z. B. Realisierung eines einfachen Quanten-Such- oder Optimierungsalgorithmus)</li> <li>• Dokumentation, Präsentation und Reflexion der Arbeitsergebnisse</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Siehe Vorlesung Quantenoperationen und-algorithmen</li> <li>• Dokumentation zu Qiskit und Cirq.</li> </ul>

### 4.4.3 Zufallsprozesse in der Quantenmechanik

#### Zufallsprozesse in der Quantenmechanik

<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB430
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. Zeller
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 4. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Höhere Mathematik und Kenntnisse der Systemtheorie
Voraussetzungen nach SPO: Signale und Systeme (QUCB340) bestanden.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden verstehen nach Absolvierung des Moduls die Grundlagen der Wahrscheinlichkeitstheorie und können zufällige Größen und Signal beschreiben und analysieren, indem Sie <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Diese in Form von Zufallsvariablen und -prozessen beschreiben</li> <li>2) Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen und Erwartungswerte und weitere stochastische Größen bestimmen und bewerten</li> <li>3) Zufallsprozesse mittels Autokorrelationsfunktionen und Spektrale Leistungsdichten beschreiben</li> </ol> um ein mathematisches Verständnis für zufällige Messgrößen, -signale, etc. zur erlangen, wie Sie für Anwendungen in der Nachrichtentechnik oder Sensordatenauswertung und -fusion erforderlich ist.
Prüfungsleistungen: Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) bewertet.

<b>Lehrveranstaltung: Wahrscheinlichkeitstheorie und Zufallsprozesse</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB431
Dozierende(r): Prof. Dr. Zeller
Umfang (SWS): 4 SWS
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wiederholung wichtiger Grundlagen der Systemtheorie (Beschreibung deterministischer Signale, LTI-Systeme, Fourier-Transformation, usw.)</li> </ul>

- Einführung Wahrscheinlichkeit und Zufallsexperimente
- Theoreme der Wahrscheinlichkeitstheorie (Satz der totalen Wahrscheinlichkeit, Satz von Bayes, etc.)
- Diskrete und kontinuierliche Zufallsvariablen
- Erwartungswerte und Momente von Zufallsvariablen
- Charakteristische Funktion und Funktionen von Zufallsvariablen
- Verbund von Zufallsvariablen und deren Erwartungswerte
- Zufallsvektoren
- Stationäre und nicht stationäre Zufallsprozesse
- Autokorrelationsfunktion und spektrale Leistungsdichte
- Ergodizität
- Zufallsprozesse und LTI-Systeme
- Markow-Prozesse

Empfohlene Literatur:

- R. D. Yates, D. J. Goodman: Probability and Stochastic Processes: A Friendly Introduction for Electrical and Computer, Wiley, 3. Aufl., 2014
- A. Mertins: Signaltheorie, Vieweg+Teubner Verlag, 2. Aufl., 2010.

#### 4.4.4 Schnittstellen zu Quantencomputern

### Schnittstellen zu Quantencomputern

#### Modulübersicht

EDV-Bezeichnung: QUCB440

Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN

Modulumfang (ECTS): 6 CP

Einordnung (Semester): 4.Semester

Inhaltliche Voraussetzungen:  
Quantenmechanik

Voraussetzungen nach SPO:  
Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.

Lernergebnisse und Kompetenzen:

Die Studierenden beherrschen die theoretischen und praktischen Grundlagen der Manipulation und Messung von Qubits und können diese Kenntnisse auf experimentelle Systeme, insbesondere NV-Zentren in Diamant, anwenden. Sie verstehen die Rolle von Schnittstellen für die Ansteuerung und Auslesung von Quantenprozessoren und sind in der Lage, experimentelle Daten zu analysieren und zu interpretieren.

#### Fachliche Kompetenzen

- Kenntnis der physikalischen Prinzipien der Qubit-Kontrolle und -Messung
- Verständnis der Funktionsweise von NV-Zentren als Qubit-System
- Grundlagen der optischen, magnetischen und mikrowellengestützten Manipulation von Qubits
- Überblick über aktuelle Messtechniken und deren Grenzen
- Kenntnis der Hardware-Schnittstellen zwischen klassischer und quantenmechanischer Welt

#### Methodische Kompetenzen

- Planung und Durchführung von Experimenten zur Qubit-Manipulation
- Anwendung von Pulssequenzen zur Kohärenzkontrolle und Zustandspräparation
- Analyse und Interpretation von Messdaten (z. B. Rabi-Oszillationen, Spin-Echo)
- Umgang mit Laborgeräten wie Mikrowellenquellen, Lasern und Detektionssystemen
- Dokumentation und kritische Bewertung experimenteller Ergebnisse

Prüfungsleistungen:

Die theoretischen Kenntnisse der Studierenden werden in einer schriftlichen Klausur (Dauer 120 min) bewertet.

Die praktischen Fähigkeiten im Umgang mit den Messmitteln und den Laborversuchen werden durch Kolloquien während der Labortermine und durch schriftliche Berichte zu jedem Laborversuch überprüft (Studienleistung).

#### Lehrveranstaltung: Schnittstellen zu Quantencomputern

EDV-Bezeichnung: QUCB441
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 4
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<b>Studieninhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Qubit-Manipulation: Rabi-Oszillationen, Spin-Echo, dynamische Entkopplung</li> <li>• Physik der NV-Zentren: Energieniveaus, optische Anregung, Spin-Initialisierung und -Auslesung</li> <li>• Magnetfelder, Mikrowellen- und Laserpulse zur Qubit-Kontrolle</li> <li>• Grundlagen der Hochfrequenztechnik: Wellenausbreitung, Netzwerkanalyse und Anpassungsschaltungen, Antennen</li> <li>• Rauschen, Dekohärenz und Fehlerquellen in experimentellen Systemen</li> <li>• Schnittstellen zwischen Quantenprozessoren und klassischer Elektronik</li> <li>• Aktuelle Forschungsfragen und Anwendungen von NV-Zentren in der Quanteninformatik</li> </ul>
<b>Empfohlene Literatur:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bronstein, Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik. Springer-Verlag, 2020.</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Labor Schnittstellen zu Quantencomputern</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB442
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Labor, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<b>Studieninhalte:</b> <b>Versuche zu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau und Justage eines Experiments mit NV-Zentren</li> <li>• Durchführung von Pulssequenzen zur Qubit-Manipulation (z. B. Rabi-Experimente, Hahn-Echo)</li> <li>• Optische und mikrowellengestützte Messung von Qubit-Zuständen</li> <li>• Analyse von Messdaten und Bestimmung von Kohärenzzeiten (T1, T2)</li> <li>• Kalibrierung und Optimierung von Experimentparametern</li> <li>• Einführung in die Steuerungssoftware (z. B. Python-basierte Pulsgenerierung)</li> </ul>
<b>Empfohlene Literatur:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bronstein, Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik. Springer-Verlag, 2020.</li> <li>•</li> </ul>



#### 4.4.5 Wahlpflichtfach 1

### Wahlpflichtfach 1

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB450
Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 4. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Keine
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Wahlpflichtmodule werden von den Studierenden aus einer gesonderten Modulliste des Studiengangs Quantencomputing gewählt. Darüber hinaus haben die Studierenden die Möglichkeit für das Wahlpflichtfach 1 mit Zustimmung des Studiendekans bzw. der Studiendekanin auch aus anderen Studiengängen auch anderer Fakultäten und aus dem Angebot anderer Einrichtungen der Hochschule Lehrveranstaltungen zu wählen. Die gewählten Lehrveranstaltungen müssen zusammen einen Umfang von mindestens 6 ECTS haben. Für zwei der drei Wahlmodule können auch nichttechnische Fächer aus dem Angebot anderer Einrichtungen der Hochschule im Umfang von 12 ECTS gewählt werden. Die Genehmigung der hier gewählten Lehrveranstaltungen erfolgt durch den Studiendekan.
Prüfungsleistungen: Abhängig von der gewählten Lehrveranstaltung

Lehrveranstaltung: Wahlpflichtfach 1
EDV-Bezeichnung:
Dozierende(r): Dozenten der gewählten Lehrveranstaltung
Umfang (SWS): z.B. 4
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Wahlpflichtfach § 41 (4) SPO
Lehrsprache: Deutsch oder Englisch
Studieninhalte: Die Inhalte der Wahlpflichtmodule ergeben sich aus den Inhalten der zugeordneten, Lehrveranstaltungen.
Literatur: Die für die Lehrveranstaltung verwendeten Bücher und Skripte entsprechenden Modulbeschreibungen, der im Katalog der Wahlfächer aufgeführten Module.

## 4.5 Semester 5

- Praxisbegleitung
- Praxistätigkeit

### 4.5.1 Praxisbegleitung

## Praxisbegleitung

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB510
Modulverantwortliche(r): Leitung des Praktikantenamts
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 5. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Module des Grundstudiums
Voraussetzungen nach SPO: §43 (4)
<p>Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Teilnehmenden erweitern Ihre persönlichen, sozialen und methodischen Kompetenzen im Hinblick auf eine praktische Tätigkeit in einem Unternehmen oder einem Forschungsinstitut, indem sie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ihre eigenen Kompetenzen im Bereich der Soft-Skills einschätzen,</li> <li>• gemäß ihrer Einschätzung gezielt Seminare aus dem Studium Generale auswählen und belegen,</li> <li>• Vorträge Ihrer Kommilitonen hören, analysieren und dazu Rückmeldung geben,</li> <li>• Ihre eigene Praxistätigkeit in einem Vortrag präsentieren und die erhaltenen Rückmeldungen analysieren.</li> </ul> <p>Sie werden dadurch zum einen auf ihre eigene Praxistätigkeit vorbereitet, zum anderen bekommen sie einen Überblick über zukünftige Aufgabenfelder.</p>
<p>Prüfungsleistungen: Praxisvorbereitung: Abhängig vom gewählten Seminar Praxisnachbereitung: Studienarbeit und Referat (15 Minuten), Studienleistung</p>

Lehrveranstaltung: Praxisvorbereitung
EDV-Bezeichnung: QUCB511
Dozierende(r): Lehrbeauftragte des Studium Generale; Prof. Dr. Harald Sehr
Umfang (SWS): 2
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Vorlesung, Besuch der Praxissemestervorträge im Rahmen der Lehrveranstaltung Praxisnachbereitung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Inhalte: Im Rahmen der Praxisvorbereitung

<ul style="list-style-type: none"> <li>• belegen die Studierenden die Einführungsveranstaltung für das Praktische Studiensemester, in dem organisatorische Aspekte der Praxisbegleitung und der Praxistätigkeit erläutert werden,</li> <li>• belegen sie einen Kurs des Studium Generale, um Ihre Soft-Skills geziQUC zu erweitern,</li> <li>• besuchen sie die Praxissemestervorträge der Studierenden aus dem 6. Semester.</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayer, Thomas: Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure, Karlsruhe, 2007 (Studienheft)</li> <li>• Thommen, Jean-Paul; Achleitner, Ann-Kristin: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Arbeitsbuch, Gabler Verlag, 4. Auflage, Wiesbaden 2004</li> <li>• Voss, Rödiger: BWL kompakt – Grundwissen Betriebswirtschaftslehre, Merkur Verlag Rinteln, Reihe „das Kompendium“, Rinteln 2004</li> <li>• Robertson-von Throta, Caroline: Schlüsselqualifikationen für Studium, Beruf und Gesellschaft, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe 2009</li> <li>• Ponschab, Reiner; Schweizer, Adrian: Schlüsselqualifikationen: Kommunikation, Mediation, Rhetorik, Verhandlung, Vernehmung, O. Schmidt Verlag, Köln, 2008</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Praxisnachbereitung</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB512
Dozierende(r): Prof. Dr. Thomas Ahndorf, Prof. Dr. Thomas Köller, Prof. Dr. Harald Sehr
Umfang (SWS): 2
Turnus: Wintersemester
Art, Modus: Blockveranstaltung an der Hochschule, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<p>Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden präsentieren ihre Praxistätigkeit im Rahmen eines Referats und üben dabei, Vorträge in einem vorgegebenen Zeitrahmen zu halten. In der anschließenden Diskussionsrunde erhalten Sie Rückmeldungen zu ihrem Referat.</li> </ul>
<p>Empfohlene Literatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koltze, Karl; Souchekov, Valeri: Systematische Innovation, München 2011</li> <li>• Senge, Peter: Die fünfte Disziplin: Kunst und Praxis der lernenden Organisation, Stuttgart 2011</li> <li>• Weidenmann, Bernd: Handbuch Kreativität, Weinheim 2010</li> </ul>

## 4.5.2 Praxistätigkeit

### Praxistätigkeit

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB520
Modulverantwortliche(r): Leitung des Praktikantenamts
Modulumfang (ECTS): 24 CP
Einordnung (Semester): 5. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Module des Grundstudiums
Voraussetzungen nach SPO: §43 (4)
Lernergebnisse und Kompetenzen: Im praktischen Studiensemester wenden und vertiefen die Studierenden ihre bisher während des Studiums erworbenen Kenntnisse durch eine möglichst eigenverantwortliche Bearbeitung von Projekten in einem Team an. Sie können in typischen Aufgaben- und Einsatzfeldern von Elektroingenieuren mitarbeiten und die bei der praktischen Tätigkeit gemachten Erfahrungen reflektieren und auswerten. Die Studierenden lernen verschiedene Aspekte der betrieblichen Entscheidungsprozesse sowie deren Zusammenwirken in einem Industrie- oder Dienstleistungsunternehmen kennen. Ferner erhalten sie vertiefende Einblicke in betriebswirtschaftliche, technische, organisatorische und soziale Zusammenhänge im Unternehmen. Sie können die gewonnenen Erkenntnisse hinterfragen und analysieren.
Prüfungsleistungen: Praktische Arbeit (mindestens 95 Präsenztage)

Lehrveranstaltung: Praxistätigkeit
EDV-Bezeichnung: QUCB521
Dozierende(r): Prof. Dr. Thomas Ahndorf, Prof. Dr. Thomas Köller, Prof. Dr. Harald Sehr
Umfang (SWS):
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Praktische Tätigkeit in einem Unternehmen, Dauer mindestens 95 Präsenztage
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: Die Studierenden sind in einem Unternehmen oder einer anderen geeigneten Praxisstelle für die Dauer von mindestens 95 Präsenztagen tätig (üblich sind Praxisverträge über eine Gesamtdauer von 6 Monaten). Dabei bearbeiten Sie Projekte zu Themen des Quantencomputing und wenden die an der Hochschule erworbenen Kenntnisse praktisch an, wobei sie durch einen erfahrenen Mitarbeiter der Praxisstelle betreut werden. Die Pro-

jekte vermitteln einen Einblick in betriebswirtschaftliche, technologische und organisatorische Zusammenhänge des Unternehmens und bereiten die Studierenden auf das spätere Berufsleben vor.

Die Studierenden sind selbst dafür verantwortlich, eine geeignete Praxisstelle sowie ein passendes Projekt zu finden und schließen mit der Praxisstelle einen Vertrag ab.

Über Ihre Tätigkeiten während des praktischen Studiensemesters erstellen die Studierenden einen schriftlichen Praxissemesterbericht, der einer vorgegebenen Form entspricht und deutlich erkennen lässt, dass die beschriebenen Inhalte und Tätigkeiten in der Praxis tatsächlich durchgeführt wurden. Der Bericht wird von der Praxisstelle schriftlich bestätigt und freigegeben. Ergänzt wird der Bericht durch ein qualifiziertes Praktikantenzugnis, aus dem sich Art und Inhalt der Tätigkeit, Beginn und Ende sowie die Anzahl der Präsenztage ergeben.

Empfohlene Literatur:

- Hering, Heike: Technische Berichte: verständlich gliedern, gut gestalten, überzeugend vortragen, Springer, Wiesbaden 2019

## 4.6 Semester 6

- Quantensensorik und -kommunikation
- Fehlertolerantes Quantencomputing
- Quantenoptimierung und KI-Anwendung
- Projektarbeit
- Wahlpflichtfach 2

#### 4.6.1 Quantensensorik und -kommunikation

Quantensensorik und -kommunikation
<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB610
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 6. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Quantenmechanik
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden verstehen die physikalischen Prinzipien und technischen Anwendungen der Quantensensorik und Quantenkommunikation. Sie können quantenbasierte Messverfahren und Kommunikationsprotokolle analysieren, bewerten und deren Potenzial für aktuelle und zukünftige Technologien einschätzen.
<b>Fachliche Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenntnis der Grundlagen quantenmechanischer Sensoren und deren Anwendungsbereiche</li> <li>• Verständnis der Prinzipien der Quantenmetrologie und -interferometrie</li> <li>• Überblick über Quantenkommunikationsprotokolle</li> <li>• Kenntnis der technischen Herausforderungen und Grenzen quantenbasierter Systeme</li> <li>• Verständnis der Rolle von Verschränkung und Nichtklassizität in Sensorik und Kommunikation</li> </ul>
<b>Methodische Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse und Bewertung von Quantensensoren hinsichtlich Empfindlichkeit und Auflösung</li> <li>• Anwendung von Quantenalgorithmien zur Signalverarbeitung</li> <li>• Planung und Bewertung von Quantenkommunikationssystemen</li> <li>• Interpretation von Forschungsliteratur und experimentellen Daten</li> <li>• Kritische Reflexion über Sicherheitsaspekte und praktische Umsetzbarkeit</li> </ul>
Prüfungsleistungen: Klausur, 120 Minuten,
<b>Lehrveranstaltung: Quantensensorik</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB611
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2

Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Quantenmetrologie: Heisenberg-Limit, Standard-Quantenlimit</li> <li>• Prinzipien quantenmechanischer Sensoren (z. B. Atomuhren, SQUIDs, NV-Zentren)</li> <li>• Quanteninterferometrie und Anwendungen in der Präzisionsmessung</li> <li>• Rauschen und Dekohärenz in Quantensensoren</li> <li>• Aktuelle Anwendungen: Magnetfeldsensorik, Gravitationswellendetektion, Bildgebung</li> </ul>
Empfohlene Literatur: Bronstein, Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik. Springer-Verlag, 2020.

<b>Lehrveranstaltung: Quantenkommunikation</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB612
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantum Key Exchange: BB84-Protokoll, E91-Protokoll</li> <li>• Technische Implementierungen: Quantenkanäle, satellitenbasierte Kommunikation</li> <li>• Herausforderungen: Dekohärenz, Verlust, Skalierbarkeit und Sicherheitsaspekte</li> </ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bronstein, Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik. Springer-Verlag, 2020.</li> </ul>

## 4.6.2 Fehlertolerantes Quantencomputing

### Fehlertolerantes Quantencomputing

<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB620
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 6. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Module Quantenmechanik sowie Schnittstellen zu Quantencomputern
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden verstehen die Prinzipien und Herausforderungen fehlertoleranter Quantenberechnungen. Sie sind in der Lage, Quantenfehlerkorrekturcodes zu analysieren, anzuwenden und experimentell zu implementieren. Zudem können sie die Grenzen und Möglichkeiten aktueller und zukünftiger fehlertoleranter Quantencomputer kritisch bewerten.
<b>Fachliche Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenntnis der Grundlagen von Quantenfehlern (Dekohärenz, Gatterfehler, Messfehler)</li> <li>• Verständnis der Prinzipien der Fehlererkennung und der Quantenfehlerkorrektur (QEC)</li> <li>• Überblick über wichtige QEC-Codes (z. B. Shor-Code, Stabilizer-Codes, Surface-Code)</li> <li>• Kenntnis der Anforderungen an physische Qubits für logische Qubits</li> <li>• Verständnis der Rolle von Fehlertoleranz für skalierbare Quantencomputer</li> </ul>
<b>Methodische Kompetenzen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse und Vergleich von QEC-Codes hinsichtlich Fehlerrate und Ressourcenbedarf</li> <li>• Planung und Durchführung von Experimenten zur Fehlererkennung und -korrektur</li> <li>• Interpretation von Messdaten und Bewertung der Fehlerkorrekturleistung</li> <li>• Simulation und Implementierung einfacher QEC-Protokolle</li> <li>• Anwendung von Softwaretools zur Simulation fehlertoleranter Quantenalgorithmen</li> </ul>
Prüfungsleistungen: Klausur / 120 Minuten. Das Labor gilt als bestanden, wenn die Projekte erfolgreich bearbeitet und testiert wurden (Studienleistung).

### Lehrveranstaltung: Fehlertolerantes Quantencomputing

EDV-Bezeichnung: QUCB621

Dozierende(r): Prof. Dr. NN

Umfang (SWS): 4
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<b>Studieninhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung in Quantenfehler: Dekohärenz, Gatterfehler, Crosstalk</li> <li>• Grundlagen der Quantenfehlerkorrektur: Syndrom-Messung, Stabilizer-Formalismus</li> <li>• QEC-Codes: Repetition-Code, Shor-Code, Surface-Code</li> <li>• Fehlerkorrektur für skalierbare Quantencomputer</li> <li>• Fehlerreduktion durch dynamische Entkopplung und Fehlervermeidung</li> <li>• Aktuelle Forschungsfragen: Ressourcenbedarf, Skalierbarkeit, hybride Ansätze</li> </ul>
<b>Empfohlene Literatur:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Shor, Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory, Physical Review A, 52 (4), 2493 – 2496, 1995</li> <li>• Fowler et al. Surface codes: Towards practical large-scale quantum computation. Physical Review A, 86(3), 2012</li> <li>• Djordjevic, Quantum Information Processing, Quantum Computing, and Quantum Error Correction: An Engineering Approach, Academic Press, 2021</li> </ul>

<b>Lehrveranstaltung: Labor Fehlertolerantes Quantencomputing</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB622
Dozierende(r): Prof. Dr. NN
Umfang (SWS): 2
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
<b>Studieninhalte:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umgang mit Quantencomputing-Frameworks (z. B. Qiskit) zur Simulation</li> <li>• Simulation von Quantenfehlern und deren Auswirkungen auf Algorithmen</li> <li>• Implementierung einfacher QEC-Protokolle (z. B. 3-Qubit-Repetition-Code)</li> <li>• Experimentelle Realisierung von Fehlererkennung und QEC (z. B. mit NV-Zentren)</li> <li>• Analyse von Syndrom-Messungen und Fehlerkorrekturzyklen</li> <li>• Optimierung von QEC-Parametern und Bewertung der Fehlerkorrekturleistung</li> </ul>
<b>Empfohlene Literatur:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Waldherr et al., Quantum error correction in a solid-state hybrid spin register. Nature, 506, 204–207, 2014</li> </ul>

### 4.6.3 Quantenoptimierung und KI-Anwendung

#### Quantenoptimierung und KI-Anwendung

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB630
Modulverantwortliche(r): Prof. Dr. NN
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 6. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Quantenoperationen und -algorithmen
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
<p><b>Fachliche Kompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• formulieren Optimierungsprobleme als QUBO- oder Ising-Modelle,</li> <li>• verstehen und erläutern Quantenverfahren wie Quantum Annealing, QAOA und variationale Methoden,</li> <li>• kennen die Grundlagen des Quantum Machine Learning (QML): Daten-Encoding, Quantum Feature Maps, variationale Klassifikatoren und Regressoren, QSVM,</li> <li>• vergleichen klassische und quantenbasierte Optimierungs- und Lernverfahren,</li> <li>• übertragen reale Anwendungsprobleme in geeignete Optimierungs- oder QML-Modelle,</li> <li>• bewerten die Aussagekraft und Grenzen quantenbasierter Verfahren kritisch.</li> </ul> <p><b>Methodische Kompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• implementieren und simulieren Quantenalgorithmen und QML-Modelle mit Frameworks wie Qiskit, PennyLane oder D-Wave,</li> <li>• führen Experimente zur Evaluierung von Optimierungs- und ML-Verfahren durch,</li> <li>• analysieren Ergebnisse quantitativ und qualitativ,</li> <li>• dokumentieren und präsentieren wissenschaftlich fundierte Schlussfolgerungen.</li> </ul> <p><b>Sozial- und Selbstkompetenzen</b> Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• arbeiten selbstständig und im Team an komplexen Programmier- und Analyseaufgaben,</li> <li>• planen und reflektieren den Forschungs- und Entwicklungsprozess,</li> <li>• kommunizieren Ergebnisse adressatengerecht und kritisch im interdisziplinären Kontext,</li> <li>• entwickeln Problemlösungs- und Bewertungskompetenz im Bereich moderner Quanten- und KI-Methoden.</li> </ul>
Prüfungsleistungen: Quantenoptimierung und KI-Anwendung: Klausur, 120 Minuten

Labor Quantenoptimierung und KI-Anwendung: das Labor gilt als bestanden, wenn die Projekte erfolgreich bearbeitet und testiert wurden (Studienleistung).

### Lehrveranstaltung: Quantenoptimierung und KI-Anwendung

EDV-Bezeichnung: QUCB631

Dozierende(r): Prof. Dr. NN

Umfang (SWS): 4

Turnus: Sommersemester

Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch

#### Studieninhalte:

- Grundlagen kombinatorischer Optimierung und formaler Problemklassifikation
- Formulierung von Optimierungsproblemen als QUBO- und Ising-Modelle
- Einführung in Quantenverfahren zur Optimierung: Quantum Annealing, Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA), Variationale Methoden (VQE, VQA)
- Grundlagen des Quantum Machine Learning (QML): Daten-Encoding und Quantum Feature Maps, Variationale Klassifikatoren / Regressoren, Quantum Support Vector Machines (QSVM)
- Vergleich klassischer und quantenbasierter Optimierungs- und Lernverfahren
- Analyse von Einsatzmöglichkeiten in realen Anwendungsfeldern (z. B. Clustering, Scheduling, Portfolio-Optimierung)
- Bewertung der Leistungsfähigkeit, Skalierbarkeit und praktischen Umsetzbarkeit
- Überblick über verfügbare Frameworks (Qiskit, PennyLane, D-Wave, Braket)

#### Empfohlene Literatur:

- Maria Schuld, Francesco Petruccione: Machine Learning with Quantum Computers, Springer, 2021.
- Arnab Das, Bikas K. Chakrabarti (Hrsg.): Quantum Annealing and Related Optimization Methods, Springer, 2005.
- Antoine Jacquier, Oleksiy Kondratyev: Quantum Machine Learning and Optimisation in Finance, Packt Publishing, 2022.
- Claudio Conti: Quantum Machine Learning: Thinking and Exploration in Neural Network Models for Quantum Science and Quantum Computing, Springer, 2024.
- Richard J. Lipton, Kenneth W. Regan: Quantum Algorithms via Linear Algebra: A Primer, MIT, 2014.

### Lehrveranstaltung: Labor Quantenoptimierung und KI-Anwendung

EDV-Bezeichnung: QUCB632

Dozierende(r): Prof. Dr. NN

Umfang (SWS): 2

Turnus: Sommersemester

Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach

Lehrsprache: Deutsch

**Studieninhalte:**

- Implementierung und Simulation quantenbasierter Optimierungsverfahren (QAOA, VQE, Quantum Annealing)
- Modellierung praktischer Optimierungsprobleme als QUBO/Ising-Instanzen
- Entwicklung und Training einfacher QML-Modelle (Variational Quantum Classifier, QSVM)
- Nutzung und Vergleich verschiedener Quantenframeworks (Qiskit, PennyLane, D-Wave)
- Fallstudien: z. B. Hyperparameter-Tuning, Clustering, Portfolio-Optimierung
- Analyse der Ergebnisse und Bewertung quanten- vs. klassischer Methoden
- Präsentation und Diskussion der Projektergebnisse im Team

**Empfohlene Literatur:**

- Siehe Quantenoptimierung und KI-Anwendung

#### 4.6.4 Projektarbeit

<b>Projektarbeit</b>
----------------------

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB640
Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 6. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse der Module der Semester 1-4
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Kompetenzen: Die Teilnehmenden können eine Aufgabenstellung in Kleingruppen selbständig erarbeiten indem Sie <ol style="list-style-type: none"> <li>1. die Aufgabenstellung verstehen und lösungsorientiert die technische Umsetzung entwickeln</li> <li>2. das Projekt mit allen technischen Ausführungen umsetzen und im Idealfall simulieren und testen</li> <li>3. die Zusammenarbeit in der Teamstruktur erlernen</li> <li>4. die Dokumentation als wissenschaftliche Arbeit verfassen</li> <li>5. die Arbeit präsentieren und Fragen diskutieren können</li> </ol> um in der beruflichen Praxis eine Aufgabenstellung im Team systematisch und zielgerichtet zu erarbeiten und umsetzen zu können.
Prüfungsleistungen: Projektarbeit: Schriftliche Ausarbeitung (Dauer: 1 Semester, Prüfungsvorleistung) und ein Referat (20 Minuten) mit mündlicher Prüfung (Dauer: 20 Minuten).

Lehrveranstaltung: Projektarbeit
EDV-Bezeichnung: QUCB641
Dozierende(r): Alle Professoren der Fakultäten EIT und IWI
Umfang (SWS): 5 SWS
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Semesterbegleitende Projektstätigkeit, Durchführung an der Hochschule
Lehrsprache: Deutsch
Inhalte: Die Inhalte der Projektarbeiten ergeben sich aus den laufenden Forschungs- und Projektfragestellungen und werden individuell von Semester zu Semester unterschiedlich gestaltet. Die Themen ergeben sich aus dem Studiengang. Im Team werden folgende Aufgaben erledigt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemstellungen erkennen und beschreiben</li> </ul>

- Zielvorstellungen formulieren
- Zeit- und Projektplan aufstellen
- Recherche durch Literaturbeschaffung und Expertenbefragung
- Interdisziplinäres Bearbeiten der Aufgabenstellung
- Arbeitsergebnisse in Projektbesprechungen formulieren und diskutieren
- Umsetzung, Entwicklung und Aufbau von Projektmustern in Zusammenarbeit mit der Werkstatt oder Entwicklung von Programmteilen, Lösungsansätzen, etc.
- Erstellen eines Projektordners mit Projektdokumentation
- Technischen Bericht erstellen
- Endergebnis in Abschlusspräsentation darstellen und argumentativ vertreten

Empfohlene Literatur:

- Hering, L; Hering, H: Technische Berichte, Vieweg, 2003, 4. Auflage

#### 4.6.5 Wahlpflichtfach 2

### Wahlpflichtfach 2

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB650
Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 6. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Keine
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Wahlpflichtmodule werden von den Studierenden aus einer gesonderten Modulliste des Studiengangs Quantencomputing gewählt. Darüber hinaus haben die Studierenden die Möglichkeit für das Wahlpflichtfach 1 mit Zustimmung des Studiendekans bzw. der Studien-dekanin auch aus anderen Studiengängen auch anderer Fakultäten und aus dem Angebot anderer Einrichtungen der Hochschule Lehrveranstaltungen zu wählen. Die gewählten Lehrveranstaltungen müssen zusammen einen Umfang von mindestens 6 ECTS haben. Für zwei der drei Wahlmodule können auch nichttechnische Fächer aus dem Angebot anderer Einrichtungen der Hochschule im Umfang von 12 ECTS gewählt werden. Die Genehmigung der hier gewählten Lehrveranstaltungen erfolgt durch den Studiendekan.
Prüfungsleistungen: Abhängig von der gewählten Lehrveranstaltung

Lehrveranstaltung: Wahlpflichtfach 2
EDV-Bezeichnung: QUCB651
Dozierende(r): Dozenten der gewählten Lehrveranstaltung
Umfang (SWS): z.B. 4
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Wahlpflichtfach § 41 (4) SPO
Lehrsprache: Deutsch oder Englisch
Studieninhalte: Die Inhalte der Wahlpflichtmodule ergeben sich aus den Inhalten der zugeordneten, Lehrveranstaltungen.
Literatur: Die für die Lehrveranstaltung verwendeten Bücher und Skripte entsprechenden Modulbeschreibungen, der im Katalog der Wahlfächer aufgeführten Module.

## 4.7 Semester 7

### Module Studienvertiefung Automatisierungstechnik

- Ringvorlesung Quantencomputing
- Wahlpflichtfach 3
- Vorbereitung Wissenschaftliches Arbeiten
- Bachelor-Thesis
- Abschlusskolloquium

### 4.7.1 Ringvorlesung Quantencomputing

## Ringvorlesung Quantencomputing

### Modulübersicht

EDV-Bezeichnung: QUCB710

Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung

Modulumfang (ECTS): 6 CP

Einordnung (Semester): 7. Semester

Inhaltliche Voraussetzungen:  
Kenntnisse der Module der Semester 1-4

Voraussetzungen nach SPO:  
Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.

#### Lernergebnisse und Kompetenzen

Die Studierenden erhalten einen umfassenden, interdisziplinären Überblick über aktuelle Themen, Herausforderungen und Anwendungen des Quantencomputings. Sie können die gesellschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Implikationen kritisch reflektieren und sind in der Lage, eigene Forschungsergebnisse oder Projektideen in den größeren Kontext der Quanteninformatik einzuordnen.

#### Fachliche Kompetenzen

- Kenntnis der aktuellen Forschungslandschaft im Quantencomputing (Hardware, Algorithmen, Anwendungen)
- Verständnis der Schnittstellen zwischen Quantencomputing und anderen Disziplinen (z. B. Physik, Informatik, Chemie, Materialwissenschaften)
- Überblick über industrielle und gesellschaftliche Anwendungen (z. B. Kryptographie, Optimierung, Materialdesign)
- Kenntnis der ethischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekte des Quantencomputings
- Verständnis der Grenzen und Potenziale der Technologie

#### Methodische Kompetenzen

- Kritische Analyse und Einordnung von Forschungsliteratur und Medienberichten
- Präsentation und Diskussion komplexer Inhalte für ein interdisziplinäres Publikum
- Reflexion über eigene und fremde Forschungsergebnisse im Kontext des Standes der Technik
- Entwicklung einer informierten Meinung zu zukünftigen Entwicklungen und Herausforderungen

Prüfungsleistungen:  
Die Studierenden hören die angebotenen Vorträge und erstellen hierzu ein Take Home Exam (Studienleistung).

<b>Lehrveranstaltung: Ringvorlesung Quantencomputing</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB711
Dozierende(r): Interne und externe Dozierende
Umfang (SWS): 4
Turnus: Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Inhalte: <ul style="list-style-type: none"><li>• Aktuelle Forschungsthemen</li><li>• Interdisziplinäre Anwendungen</li><li>• Gesellschaftliche und ethische Aspekte</li><li>• Industrielle Perspektiven</li></ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Literatur wird jährlich auf die wechselnden Vorträge angepasst.</li></ul>

### 4.7.2 Wahlpflichtfach 3

## Wahlpflichtfach 3

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB720
Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung
Modulumfang (ECTS): 6 CP
Einordnung (Semester): 7. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Keine
Voraussetzungen nach SPO: Nach SPO sind keine formellen Voraussetzungen erforderlich.
Lernergebnisse und Kompetenzen: Wahlpflichtmodule werden von den Studierenden aus einer gesonderten Modulliste des Studiengangs Quantencomputing gewählt. Darüber hinaus haben die Studierenden die Möglichkeit für das Wahlpflichtfach 1 mit Zustimmung des Studiendekans bzw. der Studien-dekanin auch aus anderen Studiengängen auch anderer Fakultäten und aus dem Angebot anderer Einrichtungen der Hochschule Lehrveranstaltungen zu wählen. Die gewählten Lehrveranstaltungen müssen zusammen einen Umfang von mindestens 6 ECTS haben. Für zwei der drei Wahlmodule können auch nichttechnische Fächer aus dem Angebot anderer Einrichtungen der Hochschule im Umfang von 12 ECTS gewählt werden. Die Genehmigung der hier gewählten Lehrveranstaltungen erfolgt durch den Studiendekan.
Prüfungsleistungen: Abhängig von der gewählten Lehrveranstaltung

Lehrveranstaltung: Wahlpflichtfach 3
EDV-Bezeichnung:
Dozierende(r): Dozenten der gewählten Lehrveranstaltung
Umfang (SWS): z.B. 4
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Vorlesung, Wahlpflichtfach § 41 (4) SPO
Lehrsprache: Deutsch oder Englisch
Studieninhalte: Die Inhalte der Wahlpflichtmodule ergeben sich aus den Inhalten der zugeordneten, Lehrveranstaltungen.
Literatur: Die für die Lehrveranstaltung verwendeten Bücher und Skripte entsprechenden Modulbeschreibungen, der im Katalog der Wahlfächer aufgeführten Module.

### 4.7.3 Vorbereitung Wissenschaftliches Arbeiten

#### Vorbereitung Wissenschaftliches Arbeiten

<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB730
Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung
Modulumfang (ECTS): 3 CP
Einordnung (Semester): 7. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Keine
Voraussetzungen nach SPO: Keine
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierende können nach Abschluss der Veranstaltung die Bachelorarbeit zeitlich und inhaltlich strukturieren. Sie beherrschen Vorgehensweisen und Werkzeuge zum Anfertigen wissenschaftlicher Arbeiten. Die Aufgabenstellung der Bachelorthesis wird entsprechend entworfen und grundlegende Informationen zur Bearbeitung der Bachelorthesis werden erarbeitet und strukturiert. Die Studierenden sind in der Lage komplexe Aufgaben in Arbeitspakete zu gliedern und diese in eine Zeitplanung zu überführen.
Prüfungsleistungen: Die Kenntnisse der Studierenden werden anhand einer schriftlichen Hausarbeit bewertet. Dies entspricht einer unbenoteten Studienleistung..

<b>Lehrveranstaltung: Vorbereitung Wissenschaftliches Arbeiten</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB731
Dozierende(r): Alle Professoren/Professorinnen, Erstbetreuende der Abschlussarbeit
Umfang (SWS): 2 SWS
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Seminar, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch oder Englisch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten</li> <li>• Planung ingenieurmäßiger Projekte</li> </ul>
Empfohlene Literatur: Hering, H; Hering, L: Technische Berichte. 8., überarbeitet Auflage, Springer-Vieweg, 2019

#### 4.7.4 Bachelor-Thesis

### Bachelor-Thesis

<b>Modulübersicht</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB740
Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung
Modulumfang (ECTS): 12 CP
Einordnung (Semester): 7. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse der Module der Semester 1-7
Voraussetzungen nach SPO: § 44
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Studierenden können ein ingenieurwissenschaftliches Thema in einem vorgegebenen Zeitrahmen eigenständig, ergebnisorientiert und sachgerecht nach wissenschaftlichen Kriterien bearbeiten, indem sie <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Informationen und Fachliteratur recherchieren, analysieren, abstrahieren und strukturieren, sich das relevante Fach- und Methodenwissen selbstständig aneignen,</li> <li>2) wissenschaftliche Methoden und Verfahren auswählen und zur Lösung der Fragestellung der Bachelor-Thesis einsetzen,</li> <li>3) die gewonnenen Ergebnisse interpretieren, evaluieren und kritisch reflektieren,</li> <li>4) die Inhalte der Bachelor-Thesis klar strukturiert nach wissenschaftlichen Vorgehensweisen unter Verwendung der Fachtermini schriftlich formulieren</li> </ol> um in der Berufspraxis eigenständig Themen bearbeiten zu können und schriftliche Berichte zu verfassen.
Prüfungsleistungen: Schriftliche Ausarbeitung der Thesis (Dauer: 4 Monate)

<b>Lehrveranstaltung: Bachelor-Thesis</b>
EDV-Bezeichnung: QUCB741
Dozierende(r): Alle Professoren der Fakultäten EIT und IWI
Umfang (SWS):
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Projekt Tätigkeit von vier Monaten Dauer. Einzelarbeit.
Lehrsprache: Deutsch (auf Antrag Englisch)
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thema aus dem Bereich des Quantencomputings. Durchführung vorzugsweise in der Industrie.</li> </ul>
Empfohlene Literatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hering, L; Hering, H: Technische Berichte, Vieweg, 2003, 4. Auflage</li> </ul>

#### 4.7.5 Abschlusskolloquium

### Abschlusskolloquium

Modulübersicht
EDV-Bezeichnung: QUCB750
Modulverantwortliche(r): Studiengangsleitung
Modulumfang (ECTS): 3 CP
Einordnung (Semester): 7. Semester
Inhaltliche Voraussetzungen: Kenntnisse der Module der Semester 1-7
Voraussetzungen nach SPO: § 44
Lernergebnisse und Kompetenzen: Die Teilnehmenden können eigenständig eine Präsentation vorbereiten und die Fragestellung und die Arbeiten der Bachelorthesis vorstellen indem Sie <ol style="list-style-type: none"> <li>1) eine kurze Einführung in das Thema geben und die wesentlichen Fragestellungen und Aufgaben vorstellen</li> <li>2) Ihre Lösungswege und technischen Entwicklungen vorstellen</li> <li>3) mögliche Problemlösungen und das Ergebnis diskutieren</li> </ol> um in der späteren Berufspraxis eigene Projekte vorzustellen, zu diskutieren und auf Fragen eingehen zu können.
Prüfungsleistungen: Mündliche Prüfung (Dauer: 20 Minuten) und Referat (Dauer: 20 Minuten)

Lehrveranstaltung: Abschlusskolloquium
EDV-Bezeichnung: QUCB751
Dozierende(r): alle Professoren der Fakultäten EIT und IWI
Umfang (SWS):
Turnus: Wintersemester und Sommersemester
Art, Modus: Selbststudium, Wiederholung der Vorlesungsinhalte des Studiums, Pflichtfach
Lehrsprache: Deutsch
Studieninhalte: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beherrschung der grundlegenden Prinzipien und wichtigsten Fakten aus den Lehrinhalten des Studiengangs „Quantencomputing“</li> </ul>