

**Modulhandbuch des Studiengangs**

**Mathematical Engineering  
(Master of Science)**

**an der  
Universität der Bundeswehr München**

**(Version 2021)**

Stand: 25. November 2020

# Prolog

Die in diesem Modulhandbuch aufgeführten Pflichtmodule 1530 (Partielle Differentialgleichungen), 1531 (Simulation), 1532 (Stochastik), 3649 (Vertiefte Kapitel der Angewandten Mathematik), 1533 (Quantitative Modelle) und 3502 (Nichtlineare FEM) sind von allen Studentinnen und Studenten einzubringen, ebenso die Module 1008 (Studium plus) und 1097 (Masterarbeit). Weiterhin muss eine von vier Wahlpflichtgruppen mit Modulen im Umfang von jeweils **54 ECTS** gewählt werden. Zur Wahl stehen:

- Die Wahlpflichtgruppe **IT-Sicherheit und Kommunikationssysteme (ITSK)**. Bei dieser Wahl müssen alle unter der Überschrift „PFL Module ME-ITSK“ aufgeführten Module belegt werden. Darüber hinaus sind Module im Umfang von mindestens **18 ECTS** aus der Liste der unter der Überschrift „WPFL Module ME-ITSK“ aufgeführten Modulen zu wählen.
- Die Wahlpflichtgruppe **Mechatronik (MECH)**. Bei dieser Wahl müssen alle unter der Überschrift „PFL Module Mechatronik“ aufgeführten Module belegt werden. Darüber hinaus sind Module im Umfang von mindestens **25 ECTS** frei aus den Modulhandbüchern der Masterstudiengänge Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, Elektrotechnik und Informationstechnik, Informatik sowie Luft- und Raumfahrttechnik zu wählen. Einschränkend gilt hierbei, dass den Bestimmungen der ABaMaPO Rechnung zu tragen ist und keine Leistung doppelt eingebracht werden darf. Für die Beschreibungen der frei wählbaren Module (insbesondere die Modulbestandteile, den Modulumfang, die Teilnahmevoraussetzungen, die ECTS-Punkte und die Bestimmungen zu Leistungsnachweis und Benotung) gelten die Modulhandbücher der Fakultäten BAU, EIT, INF und LRT.
- Die Wahlpflichtgruppe **Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen (ME-BAU)**. Bei dieser Wahl müssen alle unter der Überschrift „PFL Module ME-BAU“ aufgeführten Module belegt werden mit folgenden beiden Ausnahmen: Erstens muss nur eines der beiden Module 1539 „Massivbau Vertiefung“ und 1540 „Stahlbau Vertiefung“ und zweitens muss nur eines der beiden Module 1328 „Modelle im Verkehr“ und 3840 „Computersimulation von Strömungen“ belegt werden, es können jedoch jeweils beide Module gewählt werden. Insgesamt werden aus der Liste „PFL Module ME-BAU“ somit Module im Umfang von mindestens **39 ECTS** und höchstens **49 ECTS** eingebracht. Zur Erreichung einer Punktezahl von insgesamt 54 ECTS sind entsprechend weitere Module im Gesamtumfang von mindestens **5, 10 oder 15 ECTS** frei aus den Modulhandbüchern der bei der Wahlpflichtgruppe MECH genannten Masterstudiengänge der Trägerfakultäten zu wählen. Hierbei gilt das für die frei wählbaren Module der Wahlpflichtgruppe MECH Gesagte.
- Die Wahlpflichtgruppe **Modellierung luft- und raumfahrttechnischer Systeme (ME-LRT)**. Bei dieser Wahl müssen alle unter der Überschrift „PFL Module ME-LRT“ aufgeführten Module belegt werden. Darüber hinaus sind Module im Umfang von mindestens **25 ECTS** frei aus den Modulhandbüchern der bei der Wahlpflichtgruppe MECH genannten Masterstudiengänge der Trägerfakultäten zu wählen. Hierbei gilt das für die frei wählbaren Module der Wahlpflichtgruppe MECH Gesagte.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Prolog</b> .....	2
<b>Pflichtmodule - ME 2021</b>	
1530 Partielle Differentialgleichungen.....	5
1531 Simulation.....	7
1532 Stochastik.....	9
1533 Quantitative Modelle.....	11
3502 Nichtlineare FEM.....	13
3649 Vertiefte Kapitel der Angewandten Mathematik.....	15
<b>Wahlpflichtgruppe: IT-Sicherheit und Kommunikationssysteme - ME 2021</b>	
<b>PFL Module ME-ITSK 2021</b>	
1244 Kommunikationstechnik II.....	16
3459 Grundlagen der Informationssicherheit.....	18
6050 Signalverarbeitung.....	20
6051 Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik und Antennen.....	22
6053 Kanalcodierung.....	24
6060 Digitale Filter und Array Processing.....	26
6062 Nachrichtentheorie und Übertragungssicherheit.....	29
<b>WPFL Module ME-ITSK 2021</b>	
1168 Integrierte Anwendungssysteme im Produkt Lifecycle Management.....	32
1211 Algorithmen in der Mathematik.....	35
1518 Formale Entwicklung korrekter Software.....	37
3665 Benutzbare Sicherheit.....	39
5502 Netzsicherheit.....	42
5503 Hardwaresicherheit.....	44
5504 Datenschutz und Privacy.....	46
5505 Systemsicherheit.....	48
5507 Anwendungssicherheit.....	50
5508 Security- und IT- Management.....	52
<b>Wahlpflichtgruppe: Mechatronik-ME 2021</b>	
<b>PFL Module Mechatronik-ME 2021</b>	
1227 Praktikum: Elektrische Maschinen.....	54
1237 Systeme der Leistungselektronik.....	56
1240 Messtechnik und Sensorik.....	58
1241 Automatisierungstechnik.....	60
1242 Antriebsregelung und Aktorik, EMV in der Energietechnik.....	63

## **WPFL Module Mechatronik- ME 2021**

### **Wahlpflichtgruppe: Modellierung und Simulation Bauingenieurwesen - ME 2021**

#### **PFL Module ME-BAU - ME 2021**

1328	Modelle im Verkehr.....	67
1334	Kontinuumsmechanik und Werkstoffmodelle.....	69
1343	Schalentragwerke.....	71
1468	Bauen im Einsatz und Sicherheit der baulichen Infrastruktur.....	73
1539	Massivbau Vertiefung.....	76
1540	Stahlbau Vertiefung.....	78
1544	Projektarbeit (ME MSB).....	80
3835	Nichtlineare Statik.....	81
3840	Computersimulation von Strömungen.....	83

#### **WPFL Module ME-BAU - ME 2021**

### **Wahlpflichtgruppe: Modellierung luft- und raumfahrttechnischer Systeme - ME 2021**

#### **PFL Module ME-LRT - ME 2021**

1063	Flugzeugaerodynamik.....	85
1067	Höhere Technische Mechanik.....	87
1090	Wärme- und Stofftransport.....	89
1545	Projektarbeit (ME-MLRTS).....	91
3827	Computational Fluid Dynamics I.....	92

#### **WPFL Module ME-LRT - ME 2021**

#### **Masterarbeit - ME 2020**

1097	Masterarbeit ME.....	94
------	----------------------	----

#### **Verpflichtendes Begleitstudium plus**

1008	Seminar studium plus, Training.....	95
------	-------------------------------------	----

<b>Übersicht des Studiengangs: Konten und Module.....</b>		<b>98</b>
---	--	-----------

<b>Übersicht des Studiengangs: Lehrveranstaltungen.....</b>		<b>100</b>
---	--	------------

Modulname	Modulnummer
Partielle Differentialgleichungen	1530

Konto	Pflichtmodule - ME 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Thomas Apel	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15301	VÜ	Partielle Differentialgleichungen	Pflicht	6
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse aus der Analysis (Funktionenreihen, Differentialrechnung von Funktionen einer und mehrerer Veränderlicher), aus der Funktionalanalysis, aus der Linearen Algebra und der Numerischen Mathematik;  
grundlegende Kenntnisse zu gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen, wie sie im Modul Differentialgleichungen im Bachelor ME vermittelt werden;  
Fähigkeiten im Programmieren numerischer Algorithmen.

#### Qualifikationsziele

Viele naturwissenschaftliche Vorgänge können durch Anwendung der Erhaltungssätze der Physik modelliert und erklärt werden, zum Beispiel die Dynamik von Bauwerken und Robotern, die Ausbreitung von Wärme in Turbinen und Triebwerken, das Verhalten elektrischer Netzwerke und die Verwirbelungen von Luft bei der Durchfahrt von Zügen durch ein Tunnel. In der Sprache der Mathematik entstehen aus der Anwendung von Erhaltungssätzen der Physik im Allgemeinen Differentialgleichungen. Diese Differentialgleichungen können nach Bauart und Komplexität sehr unterschiedlich sein. In diesem Modul lernen die Studierenden, partielle Differentialgleichungen nach verschiedenen Gesichtspunkten zu klassifizieren und daraus Lösungseigenschaften abzuleiten. Für einfache Aufgaben werden die Studierenden in die Lage versetzt, Lösungsdarstellungen anzugeben.  
Komplizierte Aufgaben können nicht analytisch gelöst werden, dazu benötigt man numerische Methoden. Die Studierenden sollen Algorithmen für die numerische Lösung von Differentialgleichungen kennen lernen und in die Lage versetzt werden, diese zu analysieren und Zusammenhänge zu erkennen.  
Die eigenverantwortliche Umsetzung der Algorithmen auf dem Rechner dient zunächst der Übung im Programmieren und der kritischen Analyse des eigenen Programms. Der eigentliche Zweck der Programme ist aber das Spielen mit Parametern, wodurch Einsichten in das Verhalten der Algorithmen und die Kondition der Probleme erzielt werden.

<p>Das Modul soll bei den Studierenden Begeisterung für das Fach wecken, die analytischen Fähigkeiten verbessern, das logische und unabhängige Denken schulen. Durch das selbständige Programmieren und Austesten der Algorithmen wird die praktische Handlungsfähigkeit sowie die Kritikfähigkeit verbessert. Das Modul ergänzt das Modul Differentialgleichungen aus dem Bachelor ME.</p>
<p><b>Inhalt</b></p> <p>Behandelt werden Lösungseigenschaften, analytische Methoden und numerische Verfahren (insbesondere Finite Differenzen, Finite Volumen sowie Finite Elemente) für Anfangs- bzw. Randwertprobleme für</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- elliptische partielle Differentialgleichungen,</li> <li>- parabolische partielle Differentialgleichungen,</li> <li>- hyperbolische partielle Differentialgleichungen.</li> </ul>
<p><b>Literatur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Larsson, St.; Thomée, V.: Partielle Differentialgleichungen und numerische Methoden. Springer, Berlin, 2005</li> <li>- Tveito A., Winther R.: Einführung in partielle Differentialgleichungen, Springer, Berlin, 2002</li> <li>- Großmann, Chr.; Roos, H.-G.: Numerik partieller Differentialgleichungen. Teubner, Stuttgart, 2006</li> </ul>
<p><b>Leistungsnachweis</b></p> <p>Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten</p>
<p><b>Verwendbarkeit</b></p> <p>Pflichtmodul im Master-Studiengang ME; Kenntnisse anwendbar in allen Modulen, in denen physikalische Vorgänge durch partielle Differentialgleichungen beschrieben werden, wie Festkörpermechanik, Strömungsmechanik und Elektrodynamik</p>
<p><b>Dauer und Häufigkeit</b></p> <p>Das Modul dauert ein Trimester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr im Wintertrimester.</p>

Modulname	Modulnummer
Simulation	1531

Konto	Pflichtmodule - ME 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. Oliver Rose	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	60	120	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11433	VÜ	Simulation	Pflicht	3
15312	P	Praktikum Modellbildung und Simulation (klein)	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Grundlegende Kenntnisse zu Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik.
Qualifikationsziele
Ziel der Lehrveranstaltungen dieses Moduls ist es, die Studierenden mit speziellen Techniken der Modellentwicklung und rechnergestützter Simulation vertraut zu machen. Insbesondere sollen sie Studierenden dabei lernen, wie Qualität, Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit komplexer Simulationsmodelle durch Auswahl entsprechender Entwurfs- und Testmethoden gewährleistet werden können.
Inhalt
Im Rahmen dieses Moduls werden die Studierenden zunächst anhand von Beispielen in die unterschiedlichen Einsatz- und Anwendungsbereiche der rechnergestützten Simulation eingeführt. Sie sollen dabei die unterschiedlichen, bei Entwurf und Implementierung eines Simulationsmodells zu berücksichtigenden Einfluss-, Steuer und Ausgabeparameter kennenlernen. Im Mittelpunkt dieser Einführung werden des Weiteren Klassifikationen von Anwendungsbereichen und Techniken der rechnergestützten Simulation stehen, mit dem Schwerpunkt auf der diskreten Simulation. Die Studierenden werden danach unterschiedliche Prinzipien von Ablaufsteuerungen, Zufallszahlenerzeugung, Datenerhebung und -auswertung sowie Möglichkeiten und Problematik der Modell-Verifikation und -Validierung kennenlernen. Außerdem werden Chancen, Risiken und Vorgehensweisen von Modellentwurfprozessen sowie einer komponentenbasierten Modellentwicklung behandelt. Es wird der Einsatz von Modellierungsmethoden und Techniken rechnergestützter Simulation unter besonderen Randbedingungen bzw. für spezielle Verwendungszwecke behandelt. Dabei werden insbesondere die Datenaufbereitung für Simulationsmodelle, die Versuchsplanung bei Simulationsexperimenten und die Auswertung von Simulationsergebnissen betrachtet.

Im Praktikum werden die Inhalte der Vorlesung im Rahmen eines exemplarischen Simulationsprojektes zur Anwendung gebracht.
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung von 60 Minuten oder mündliche Prüfung von 30 Minuten zur Vorlesung und schriftliche Ausarbeitung mit Präsentation für das Praktikum.
<b>Verwendbarkeit</b>
Die Teilnahme an den Lehrveranstaltungen dieses Wahlpflichtmoduls ermöglicht den Studierenden die Übernahme einer Master-Arbeit auf dem Gebiet der Modellbildung und Simulation. Da außerdem in nahezu allen Disziplinen zunehmend rechnergestützte Simulation als Hilfsmittel für Analysen und bewertende Untersuchungen eingesetzt wird, erleichtert es den Studierenden bei Auswahl dieses Moduls Einschätzung des Potentials von Simulation und deren Anwendungen in vielen Fachgebieten.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 2 Semester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Wintersemester. Als Startzeitpunkt ist das Wintersemester im 1. Studienjahr vorgesehen.



Modulname	Modulnummer
Stochastik	1532

Konto	Pflichtmodule - ME 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Mathias Richter	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15321	VÜ	Stochastik	Pflicht	6
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Analysis einer und mehrerer Variablen, Lineare Algebra

#### Inhalt

##### A. Wahrscheinlichkeitsrechnung

- Zufallsexperimente und Wahrscheinlichkeitsräume;
- Zufallsvariablen und ihre Verteilung, Wahrscheinlichkeitsfunktion, Dichte;
- Verteilungs- und Quantilfunktion, Quantiltransformation;
- bedingte Wahrscheinlichkeit und Unabhängigkeit;
- der Erwartungswert reeller Zufallsvariablen;
- Varianz, Kovarianz(matrix), Korrelation;
- Standardmodelle: Binomial- und Multinomialverteilung, ein- und mehrdimensionale Normalverteilung, Gamma-, Chiquadrat-, Beta-, F- und t-Verteilung;
- Konvergenzbegriffe: Konvergenz fast überall, stochastische,  $L^2$ - und schwache Konvergenz;
- Gesetze der großen Zahlen und zentraler Grenzwertsatz.

##### B. Statistik

- der statistische Raum;
- Stichproben und Stichprobenfunktionen: Stichprobenmittel, Stichprobenvarianz, empirische Verteilungsfunktion, Ordnungs- und Rangstatistiken, Stichprobenquantile;
- Satz von Glivenko-Cantelli und Satz von Student;
- Schätzfunktionen: Erwartungstreue, Effizienz;
- Maximum-Likelihood-Schätzung;
- Informationsungleichung und Höchsteffizienz;
- Konsistenz von Schätzfunktionen;
- Konfidenzbereiche, insbesondere für Binomial- und Gaußmodelle;
- Tests: Gütefunktion, Irrtumsniveau, p-Wert;

- Binomial-, Gauß-, t-Tests, Chi-Quadrat-Tests, Zwei-Stichproben-t-Tests;
- Anpassungs- und Unabhängigkeitstests;
- lineare Regression.

**Literatur**

- L. Wasserman, All of Statistics, Springer.
- O. Georgii, Stochastik, de Gruyter.

**Leistungsnachweis**

schriftliche Prüfung von 90 min oder mündliche Prüfung von 30 min

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert ein Trimester und wird im ersten Fachtrimester (Wintertrimester) angeboten.

Modulname	Modulnummer
Quantitative Modelle	1533

Konto	Pflichtmodule - ME 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Siegle	Pflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10321	VÜ	Quantitative Modelle	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Wahrscheinlichkeitsrechnung auf Bachelor-Niveau wird vorausgesetzt. Voraussetzung ist ferner eine Vertrautheit mit dem grundlegenden Aufbau von technischen Systemen, insbesondere von IKT-Systemen.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden lernen, ein existierendes oder geplantes reales System auf ein Modell abzubilden und anhand des Modells Aussagen über die zu erwartende Leistungsfähigkeit und/oder Zuverlässigkeit zu machen. Sie werden in die Lage versetzt, die Zusammenhänge zwischen den diversen Parametern eines Systems und den zu erwartenden Leistungs- und Zuverlässigkeitskenngrößen zu verstehen. Die Studierenden sollten nach erfolgreicher Teilnahme an diesem Modul in der Lage sein, (Rechner-)Systeme performanter und verlässlicher zu entwerfen, bzw. existierende Systeme bezüglich Performance und Verlässlichkeit zu bewerten.

#### Inhalt

Neben der Frage, ob ein modernes IKT-System seine funktionalen Anforderungen korrekt und vollständig erfüllt, spielt die Frage nach der Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Systems eine zentrale Rolle. Modelle mit stochastischem Charakter sind ein wichtiges Hilfsmittel für die Leistungs- und Zuverlässigkeitsbewertung von Systemen.

In diesem Modul werden die Grundlagen solcher Modelle und ihrer quantitativen Analyse behandelt. Einfache stochastische Prozesse, insbesondere Markov-Prozesse mit diskretem oder stetigem Zeitparameter werden eingeführt. Dann werden wichtige Leistungs- und Zuverlässigkeitskenngrößen definiert und bestimmt. Grundlegende Gesetzmäßigkeiten, wie das Gesetz von Little, werden erläutert. Es werden unterschiedliche Typen von Bediensystemen betrachtet, und schließlich verschiedene Verfahren für die Analyse von Warteschlangennetzen und die numerische Analyse von Markovketten vorgestellt.

<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung über 60 min oder mündliche Prüfung über 30 min. Der Prüfungsmodus wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.
<b>Verwendbarkeit</b>
Angesichts der hohen Leistungs- und Zuverlässigkeitsanforderungen an IT-basierte Systeme in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen (z.B. verteilte eingebettete Systeme, Prozesssteuerungen, sicherheitskritische Systeme, Workflow-Systeme oder paralleles wissenschaftliches Rechnen) bilden die erworbenen Kenntnisse einen wichtigen Bestandteil der Ausbildung von Informatikern, Ingenieuren und angewandten Mathematikern.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Frühjahrstrimester.

Modulname	Modulnummer
<b>Nichtlineare FEM</b>	3502

Konto	Pflichtmodule - ME 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Popp	Wahlpflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
35021	VL	Nichtlineare FEM	Pflicht	4
35022	UE	Nichtlineare FEM	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundkenntnisse in den Bereichen Mathematik und Finite-Elemente-Methoden für lineare Probleme (wie sie beispielsweise in den Modulen Mathematik I bis III sowie Einführung FEM im Bachelorstudiengang BAU erworben werden). Idealerweise außerdem Grundkenntnisse im Bereich der Kontinuumsmechanik und Tensorrechnung.

#### Qualifikationsziele

Nach der erfolgreichen Teilnahme an der Modulveranstaltung Nichtlineare FEM sind die Studierenden in der Lage die Finite-Elemente-Methode (FEM) auf nichtlineare Problemstellungen im Bauingenieurwesen und in den Umweltwissenschaften anzuwenden. Dabei können sie geeignete Verzerrungs- und Spannungsmaße zur Beschreibung des Problems auswählen und die grundlegenden Werkzeuge der nichtlinearen Systemanalyse (Inkrementieren und Iteration) selbständig einsetzen. Außerdem sind die Studierenden in der Lage, Gleichgewichtspfade detailliert zu charakterisieren, kritische Punkte zu erkennen und einfache nichtlineare FEM-Elementformulierungen selbständig zu implementieren.

#### Inhalt

- Einführung in die nichtlineare Modellierung und Analyse
- Ursachen für Nichtlinearitäten
- Nichtlineare Kontinuumsmechanik (Kinematik, Bilanzgleichungen, Stoffgesetze)
- Werkzeuge für die nichtlineare Analyse / FEM
- Newton-Raphson-Verfahren / Tangentensteifigkeitsmatrix
- Bestimmung kritischer Punkte und Stabilität
- 2D/3D nichtlineare Elementformulierungen
- Verschiebungsbasierte FEM und gemischte FEM
- Einführung in die nichtlineare Dynamik

<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten.
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pflichtmodul im Master-Studiengang Mathematical Engineering (Master ME) ab 2021</li><li>• Empfohlene Voraussetzung für die Teilnahme am Modul "Computergestützte Simulation in der Kontaktmechanik"</li><li>• Vorbereitung auf Projekt- und Masterarbeit und weitergehende angewandte Forschung</li></ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester. Das Modul findet jeweils im Frühjahrstrimester statt.
<b>Sonstige Bemerkungen</b>
Das Modul ist für Studierende der Master-Studiengänge BAU und ME geeignet.

Modulname	Modulnummer
<b>Vertiefte Kapitel der Angewandten Mathematik</b>	3649

Konto	Pflichtmodule - ME 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts	Pflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
3649-V1	VL	Vertiefte Kapitel der Angewandten Mathematik-V1		6
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
unabdingbar: mathematische Grundlagenvorlesungen aus dem Bachelorstudium (Analysis, lineare Algebra, Numerik, Optimierung, Differentialgleichungen)
Qualifikationsziele
Die Studierenden kennen nach erfolgreichem Bestehen des Moduls fortgeschrittene Werkzeuge zur Analyse und Lösung mathematischer Aufgabenstellungen aus der Angewandten Mathematik.
Inhalt
Das Modul behandelt einen vom Dozenten ausgewählten, aktuellen Themenbereich aus der Angewandten Mathematik in vertiefter Form. Mögliche Themenbereiche sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>• optimale Steuerung und Variationsrechnung</li> <li>• weiterführende Methoden für partielle Differentialgleichungen</li> <li>• weiterführende Methoden der Optimierung</li> <li>• weiterführende Methoden der Stochastik</li> </ul>
Literatur
Empfohlene Literatur: wird in der Vorlesung bekannt gegeben.
Leistungsnachweis
schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
Verwendbarkeit
Pflichtmodul in den Master-Studiengängen ME in allen Wahlpflichtgruppen
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr im Herbsttrimester des 1. Studienjahres.

Modulname	Modulnummer
Kommunikationstechnik II	1244

Konto	PFL Module ME-ITSK 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Berthold Lankl	-	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12441	VÜ	Kommunikationstechnik II	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Voraussetzungen laut Prüfungsordnung

keine

#### Empfohlene Voraussetzungen

- Mathematische Kenntnisse, wie sie in den drei ersten Trimestern der Bachelor-Studiengänge EIT oder ME vermittelt werden
- Modul 1077: Signale und Kommunikationssysteme
- Modul 1083: Kommunikationstechnik
- Modul 6050: Signalverarbeitung

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden kennen die Grundlagen moderner Übertragungsverfahren, wie sie beispielsweise in der Funkkommunikation und der Kommunikation über Glasfasern eingesetzt sind, und kennen die zugehörigen Begriffe, Kenngrößen und Eigenschaften. Sie können Verfahren analysieren, bewerten und auch konzipieren und die entsprechenden Parameter bestimmen. Sie sind in der Lage komplexere Systeme aus Systemkomponenten und der Kenntnis von deren Eigenschaften zu entwerfen.

#### Inhalt

Die Studierenden erlernen die Beschreibung einer trägermodulierten digitalen Signalübertragung im äquivalenten Tiefpassbereich. Sie lernen lineare digitale Modulationsverfahren (QAM, PSK, OFDM, SC-FDE), Signalkonstellationen und Augenmuster, Symbol- und Bitfehlerwahrscheinlichkeiten, das Guardintervall und das zyklische Präfix bei OFDM, die Entzerrung bei OFDM und SC-FDE, Bandspreizverfahren (Direct-Sequence, CDMA) und die trainingsbasierte Synchronisation kennen. Sie lernen die zugehörigen Eigenschaften und Berechnungsmethoden kennen und lernen anhand von Beispielen entsprechende Parameter zur Analyse und Bewertung zu bestimmen. Die Studierenden lernen informationstheoretische Grenzen kennen und lernen wie diese mit der Anwendung von Codierverfahren immer besser erreicht werden können. Sie erhalten eine Einführung in die Kanalcodierung (Fehlererkennung und Fehlerkorrektur, FEC-Klassifikation in Blockcodes und Faltungscodes, lineare



zyklische binäre Blockcodes, Codierung, einfache syndrombasierte Fehlererkennung und Fehlerkorrektur, Restfehlerwahrscheinlichkeit, Galoisfeld $GF(2)$ ). Sie erlernen die Konstruktion von Erweiterungskörpern und die Anwendung dieser Erweiterungskörper am Beispiel von BCH-Codes und die Decodierung dieser Codes mit dem Euklid'schen Algorithmus. Anhand von Beispielen werden diese Verfahren angewandt und die Studierenden lernen die Eigenschaften von algebraischen Codes und die Bestimmung von Kenngrößen kennen.
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kammeyer/Dekorsy, Nachrichtenübertragung, Springer Vieweg</li><li>• Proakis/Salehi, Digital Communications, IRWIN Verlag</li><li>• Benvenuto/Cherubini, Algorithms for Communication Systems and their Applications, Wiley</li><li>• Proakis/Salehi/Bauch, Contemporary Communication Systems using MATLAB, CENGAGE Learning</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung von 75min Dauer (sP-75) oder mündliche Prüfung von 25 Minuten Dauer (mP-25)
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung MSC</li><li>• Wahlpflichtmodul EIT M.Sc.</li></ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
1 Trimester, in jedem FT

Modulname	Modulnummer
Grundlagen der Informationssicherheit	3459

Konto	PFL Module ME-ITSK 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Hommel	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	72	108	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10101	VÜ	Ausgewählte Kapitel der IT-Sicherheit	Pflicht	3
11432	VÜ	Sicherheit in der Informationstechnik	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Für das Modul werden grundlegende Kenntnisse in folgenden Bereichen benötigt:

- Programmieren und Software Engineering, wie z.B. in den Bachelormodulen "Einführung in die Informatik I/II" und "Objektorientierte Programmierung" vermittelt.
- Rechnernetze, wie z.B. in "Einführung in Rechnernetze" vermittelt.

#### Qualifikationsziele

Das Absolvieren des Moduls wird Studierenden im Bachelor-Studium, die den Master-Studiengang Cyber-Sicherheit (MCYB) studieren möchten, **dringend** empfohlen. MCYB-Studierende, die das Modul nicht bereits im Bachelor-Studium absolviert haben, müssen es zu Beginn des Master-Studiengangs verpflichtend belegen.

Studierende erhalten einen Einblick in die verschiedenen Aspekte der IT-Sicherheit und sind in der Lage, die Bedeutung und Zusammenhänge verschiedener technischer und organisatorischer Einflussfaktoren auf die IT-Sicherheit zu verstehen. Mit den erworbenen Kenntnissen können die Studierenden systematische Bewertungen des Schutzbedarfs und des Sicherheitsniveaus moderner IT-Systeme und IT-Infrastrukturen vornehmen, in die auch in der Praxis häufig noch unterschätzte nicht-technische Faktoren einfließen.

#### Inhalt

Das Modul führt in die Grundlagen der Informations- und IT-Sicherheit ein und gibt dabei einen breiten Überblick über die Teildisziplinen der Informationssicherheit.

Die Lehrveranstaltung "Sicherheit in der Informationstechnik" umfasst klassische Methoden der technischen und organisatorischen Informationssicherheit, u.a.

- Bedrohungen und Gefährdungen, Risikoanalysen
- Security Engineering
- Grundlagen der angewandten Kryptographie
- Sicherheitsmodelle
- Grundlagen von
  - Netzsicherheit
  - komponentenorientierter Sicherheit
  - Systemsicherheit
  - Anwendungssicherheit
  - Softwaresicherheit

Die Lehrveranstaltung "Ausgewählte Kapitel der IT-Sicherheit" vertieft einige Aspekte der Informationssicherheit mit hoher praktischer Relevanz u.a. anhand von Fallbeispielen und Lösungsansätzen aus der Forschung; die behandelten Themen umfassen u.a.:

- Security Incident Response mit Breach- und Malware-Analyse
- Social Engineering: Faktor Mensch in der Informationssicherheit
- Stolperfallen bei angewandter Kryptographie

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung (60 Min.) oder mündliche Prüfung (20 Min.) oder Notenschein gemäß Fachprüfungsordnung. Die konkrete Prüfungsform wird zu Beginn in den Lehrveranstaltungen des Moduls bekanntgegeben.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester und wird jeweils im WT für Master-Studierende und im FT für Bachelor-Studierende angeboten.

#### Sonstige Bemerkungen

Das Modul wird derzeit üblicherweise inhaltsgleich zweimal pro Jahr, im WT und im FT, angeboten. Es ist dabei im WT für Masterstudierende (zum Beginn des Masterstudiums) und im FT für Bachelorstudierende (BINF-/WINF-Wahlpflichtmodul gemäß Musterstudienplan im FT des zweiten Studienjahres) gedacht. Die Teilnahme ist selbstverständlich auch im jeweils anderen Trimester möglich, allerdings kann bei der Termin- und Raumplanung keine Rücksicht auf Überschneidungen mit anderen Mastermodulen (im FT) bzw. Bachelormodulen (im WT) genommen werden.

Modulname	Modulnummer
Signalverarbeitung	6050

Konto	PFL Module ME-ITSK 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Knopp	-	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
60501	VÜ	Signalverarbeitung	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung

keine

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der Signal- und Systemtheorie, der Wahrscheinlichkeitsrechnung und stochastischer Prozesse und der höheren Mathematik.

Qualifikationsziele

Die Studierenden verstehen die mit dem Übergang vom kontinuierlichen Signal zum zeit- und wertdiskreten Signal einhergehenden Veränderungen von Signaleigenschaften. Sie wenden diese Signaleigenschaften eigenständig auf praktische Probleme an. Hierzu verfügen sie über einen sicheren Umgang mit Schlüsseltechniken der digitalen Signalverarbeitung im Zeit- und Frequenzbereich. Die Studierenden differenzieren ferner die Prinzipien der statistischen Signalklassifikation.

Inhalt

Die Studierenden werden in dieser Lehrveranstaltung spezifisch mit digitalen Signalen deterministischer und stochastischer Natur (Zufallssignalen) vertraut gemacht. Sie setzen sich im ersten Schritt mit der Darstellung von zeitkontinuierlichen und zeitdiskreten Signalen im Zeit- und Frequenzbereich als Fourier-Reihe, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, Z-Transformation und zeitdiskrete Fourier-Transformation (DTFT) auseinander. Dazu verdeutlichen sich die Studierenden erneut das Verfahren der Signalabtastung und dessen Effekte. Als wichtigstes Ergebnis dieses Abschnitts zu den Signaltransformationen erlernen die Studierenden das Werkzeug der diskreten Fourier-Transformation (DFT) und grenzen dieses zu anderen Verfahren ab. Dabei machen sie sich mit allen Effekten der DFT vertraut, insbesondere der Zusammenhänge von Zeit- und Frequenzauflösung, Aliasing und Leakage-Effekt. Spezifische Größen für Zufallssignale und Zufallsvariablen sowie allgemeine stochastische Prozesse, insbesondere die Autokorrelation, Kreuzkorrelation und das Leistungsdichtespektrum, vervollständigen das Bild basierend auf den Wiener'schen Theorien. Darauf aufbauend wird die Spektralschätzung und Spektralanalyse eingeführt. So erwerben die

<p>Studierenden fundierte Kenntnis über die Spektralanalyse und Spektralschätzung von deterministischen Signalen und Zufallssignalen, wobei traditionelle, nicht-parametrische sowie parametrische Spektralschätzverfahren vermittelt werden. Zur Abrundung erlernen die Studierenden die Grundlagen der Parameterschätzung mithilfe von Statistiken höherer Ordnung (Higher-Order Statistics, HOS) und bestimmen die Schätzgüte anhand der wesentlichen Parameter Erwartungstreue und Schätzvarianz. Mithilfe der Cramer-Rao-Bound erlernen sie ferner, die Schätzgüte absolut sowie im Vergleich mit anderen Schätzverfahren zu beurteilen.</p>
<p><b>Literatur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kammeyer KD, Kroschel K: Digitale Signalverarbeitung. Springer Vieweg, 2012</li> <li>• Oppenheim A, Schaffer R: Discrete-Time Signal Processing: Pearson New International Edition. Pearson Education Limited, 2013</li> </ul>
<p><b>Leistungsnachweis</b></p> <p>Schriftliche Prüfung von 60 Minuten Dauer (sP-60) oder mündliche Prüfung von 30 Minuten Dauer (mP-30) am Ende des Wintertrimesters. Die genaue Art der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.</p>
<p><b>Verwendbarkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflichtmodul EIT (M.Sc.), Vertiefung MSC</li> <li>• Pflichtmodul ME (M. Sc.), Vertiefungsrichtung ITSK</li> <li>• Wahlpflichtmodul INF (M. Sc.) mit Anwendungsfach Elektrotechnik</li> <li>• Wahlpflichtmodul MINT</li> </ul>
<p><b>Dauer und Häufigkeit</b></p> <p>1 Trimester, in jedem WT</p>

Modulname	Modulnummer
<b>Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik und Antennen</b>	6051

Konto	PFL Module ME-ITSK 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Stefan Lindenmeier	-	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12451	VÜ	Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik	Pflicht	3
60511	P	Praktikum: Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse in Hochfrequenztechnik und Theoretischer Elektrotechnik, wie sie z.B. in den Modulen „Hochfrequenztechnik und Einführung in Radio Communications“, „Funktechnik und mobile Kommunikation“, „Elektromagnetische Felder“ und „Elektrische Leitungen und Wellen“ aus den jeweiligen B.Sc.-Studiengängen vermittelt werden.
Qualifikationsziele
Die Studierenden haben ein detailliertes Verständnis des Aufbaus von mobilen Funksystemen, Systemen der Funkortung und der Radartechnik. Sie sind in der Lage, Übertragungssysteme aufgrund von Gleichungen hinsichtlich ihrer Gesamtsystemparameter zu analysieren und bewerten. Die Studierenden kennen den Aufbau von Sende-Empfängern, Frontend-Architekturen und deren Hochfrequenzschaltungen und sind in der Lage, diese zu analysieren. Die Studierenden haben vertiefende Kenntnisse der physikalischen Übertragungsebene, der Funkübertragung mit Mehrwege-Ausbreitung, von Übertragungsleitungen sowie Mehrantennensystemen. Die Studierenden haben vertiefende Kenntnisse von Antennen und Mehrantennensystemen und können diese selbständig analysieren und vergleichen.
Inhalt
Lehrveranstaltung 1: Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik:  In diesem Modul erhalten die Studierenden eine vertiefende Einführung in moderne Übertragungssysteme: Mobile und fest installierte Funknetze für die

<p>Anwendungen Mobilkommunikation, Funkortung und Radar sowie kabelgebundene Übertragungssysteme. Die Studierenden erwerben ein grundlegendes Verständnis wichtiger Komponenten wie z. B. Verstärker, Mischer, Oszillatoren. Die Studierenden werden mit Mehrwege-Wellenausbreitung im Reflexionsszenario bekannt gemacht. Die Studierenden erhalten eine vertiefende Einführung in Antennen für Funkverkehr, Funkortung und Radar, adaptive Antennengruppen und Frontendarchitekturen für Richtfunksysteme mit adaptiver Strahlformung sowie intelligente Antennensysteme und lernen, wichtige Eigenschaften dieser zu berechnen. Ein Verständnis der Grundlagen von Antennendiversity-Verfahren zur Empfangsverbesserung bei Mehrwege-Wellenausbreitung sowie von Antennen und Frontendaufbau von Single Input Multiple Output (SIMO) und Multiple Input Multiple Output (MIMO)-Übertragungsstrecken wird vermittelt. Ein Überblick über Frontend-Architekturen sowie Sender und Empfänger-Architekturen ermöglicht den Studierenden die Beurteilung realer Übertragungssysteme.</p> <p>Lehrveranstaltung 2: Praktikum Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik</p> <p>Dieses Praktikum bietet einen Einblick in Aufbau und Funktion moderner Funkübertragungstechnik. Anhand von ausgewählten Versuchen werden exemplarisch typische Baugruppen der Funktechnik mit Hilfe moderner Mess- und Simulationstechnik analysiert und optimiert, wie z. B. Verstärker, Bandfilter, Antennen, ... Hierdurch erhalten die Studierenden die Fähigkeit, in den Vorlesungen erworbenes Wissen selbständig anzuwenden und die Ergebnisse zu analysieren.</p>
<b>Literatur</b>
Meinke, Gundlach: "Taschenbuch der Hochfrequenztechnik", Springer Verlag, Berlin, 1986,
<b>Leistungsnachweis</b>
Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik: Schriftliche Prüfung von 75 min Dauer (sP-75) oder mündliche Prüfung von 25 min Dauer (mP-25) am Ende des Trimesters. Die Art der Prüfung wird zu Beginn des Trimesters angegeben.
Praktikum: Teilnahmechein. Die regelmäßige Teilnahme an dem Praktikum mit Vor- und Nachbereitung ist für den Erhalt des Teilnahmecheins (TS) notwendig.
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung MSC</li> <li>• Wahlpflichtmodul EIT M.Sc.</li> </ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
1 Trimester, in jedem WT

Modulname	Modulnummer
Kanalcodierung	6053

Konto	PFL Module ME-ITSK 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Knopp	-	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
60531	VÜ	Kanalcodierung	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse der höheren Mathematik, der Signal- und Systemtheorie, wie sie in der Vorlesung „Signale und Kommunikationssysteme“ (BA Modul „Kommunikationstechnik“) erlernt werden sowie Kenntnisse von Kommunikationssystemgrundlagen, wie sie in der Vorlesung „Kommunikationssysteme I“ (BA Modul „Kommunikationstechnik“) erlernt werden.
Qualifikationsziele
Die Studierenden erlernen in dieser Lehrveranstaltung die Grundlagen der Informationstheorie und darauf aufbauend die wichtigsten Methoden und Verfahren der Vorwärtsfehlerkorrektur und Kanalcodierung. Sie vertiefen dabei ihre Kenntnisse von spezifischen Codierungsverfahren und der Decodierung. Ferner erlernen Sie Werkzeuge und Kenngrößen zur analytischen Untersuchung von Codierungsverfahren und deren vergleichender Bewertung.
Inhalt
Die Studierenden erlernen die Grundlagen der Informationstheorie als Voraussetzung für den Entwurf von Vorwärtsfehlerkorrekturverfahren. Sie erhalten abschließend ein fundiertes Verständnis des Kanalcodierungstheorems, der Kanalkapazität verschiedener Übertragungskanäle und des Prinzips der Kanalcodierung. Die Studierenden werden mit Methoden zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit von Codes vertraut gemacht; sie berechnen eigenständig Distanzeigenschaften wie die Hamming-Distanz sowie weitere theoretische Grenzen (Bounds). Sie erlernen das Prinzip der Maximum-Likelihood (ML) und Maximum-A-Posteriori (MAP) Decodierung, der Soft-in soft-out Decodierung und reflektieren diese am Beispiel der wichtigsten Codeklassen. Hierzu gehören lineare Blockcodes, Low-Density Parity Check Codes und Faltungscodes. In Bezug auf die Blockcodes setzen sie sich analytisch und simulativ mit der Fehlerwahrscheinlichkeit auseinander. Die Studierenden vergleichen Low Density Parity Check (LDPC) Codes



<p>und erlernen deren Konstruktion und Bewertung anhand von Tanner Graphen. Für die Decodierung von LDPC Codes konzentrieren sie sich auf Message Passing Decodierung. Faltungscodes verstehen die Studierenden anhand von Zustandsautomaten; die Decodierung von Faltungscodes führen sie mit Trellis-Graphen und dem Viterbi-Decodierverfahren aus. Schließlich erlernen die Studierenden den Nutzen der Codeverkettung und deren iterativer Decodierung, einschließlich der Grundlagen der Turbo-Codes. Zur Decodierung von Turbo-Codes konzentrieren sich die Studierenden auf die MAP Decodierung mit dem BCJR Algorithmus.</p>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung von 60 Minuten Dauer (sP-60) oder mündliche Prüfung von 30 Minuten Dauer (mP-30) am Ende des Wintertrimesters. Die genaue Art der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pflichtmodul EIT (M. Sc.), Vertiefung MSC</li><li>• Pflichtmodul ME (M. Sc.), Vertiefung ITSK</li><li>• Wahlpflichtmodul MINT</li></ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>1 Trimester, in jedem HT</p>

Modulname	Modulnummer
<b>Digitale Filter und Array Processing</b>	6060

Konto	PFL Module ME-ITSK 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Knopp	-	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
60601	VÜ	Digitale Filter	Pflicht	3
60602	VÜ	Array Processing	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt sind Grundkenntnisse in der Digitalen Signalverarbeitung wie sie z.B. im Modul 6050 Signalverarbeitung vermittelt werden
Qualifikationsziele
Die Studierenden besitzen vertieftes und fundiertes Wissen in der Analyse des Ein-/Ausgangsverhaltens linearer zeitdiskreter Systeme im Zeit- und Frequenzbereich. Sie sind sicher im Umgang mit Schlüsseltechniken zur Signaldarstellung und Interpretation im Zeit- und Frequenzbereich sowie zum Entwurf digitaler Filter. Sie sind fähig, diese Werkzeuge situationsbezogen auf neue Problemstellungen anzuwenden. Die Studierenden können digitale Filterkomponenten in Abhängigkeit von der gegebenen Fragestellung auswählen, parametrieren und kritisch hinsichtlich sicherheitsrelevanter Aspekte wie Stabilität und Robustheit bewerten. Sie erhalten die Kompetenz das erworbene Wissen in voller Anwendungsbreite von Schätzverfahren im Zeit- und Frequenzbereich hinaus auf neue Fragestellungen anzuwenden. Die Studierenden verfügen über die Fähigkeit, selbständig Fragestellungen zu den wesentlichen Algorithmen der räumlichen Signalanalyse und Parameterschätzung zu bearbeiten. Sie erkennen die breiten Potenziale von Mehrantennensystemen für die gerichtete räumliche Kommunikation und für die Nutzung der räumlichen Dimension als zur Zeit- und Frequenzdimension orthogonale Ausbreitungskomponente und können diese benennen. Die Studierenden können Methoden zur Apertursynthese und modellbasierten Strahlformung wiedergeben und selbstständig auf neue Problemstellungen anwenden.
Inhalt
a) Lehrveranstaltung Digitale Filter (PD Dr.-Ing. Gerhard Staude)

In dieser Lehrveranstaltung werden die Studierenden mit den wesentlichen Prinzipien zur Analyse und dem Entwurf digitaler Filter bekannt gemacht und damit das Wissen aus den grundlegenden Signalverarbeitungsvorlesungen weiter vertieft. Nach einer Einführung in das Gebiet der Schnellen Algorithmen (Fast Fourier Transform (FFT), Schnelle Faltung) befassen sich die Studierenden umfassend mit der Analyse von linearen verschiebungsinvarianten Systemen (LVI-Systeme). Sie werden mit den verschiedenen Beschreibungsformen (IA, DG, ÜF, FG) vertraut gemacht und lernen die verschiedenen Systemarten (MA, AR, ARMA) und ihre speziellen Eigenschaften (linearphasige Filter, minimalphasige Filter, Allpässe) zu differenzieren. Die Studierenden lernen unterschiedliche Realisierungsstrukturen kennen und befassen sich mit Techniken zum Entwurf digitaler Filter. Dabei erlernen sie sowohl Verfahren zum Entwurf von FIR-Filtern (Windowing, Frequency-Sampling, Tschebyscheff-Approximation) als auch zum Entwurf von IIR-Filtern (direkte, impulsinvariante und bilineare Transformation). In einem weiteren Kapitel werden die Studierenden mit dem Konzept der adaptiven Filter bekannt gemacht. Dabei werden zunächst exemplarisch das Least-Mean-Squares Verfahren und der Recursive-Least-Squares Algorithmus vorgestellt bevor die Studierenden an das allgemeine Prinzip der Zustandsmodellierung und des Kalman-Filters herangeführt werden. Ein Kapitel zu aktuell verfügbaren Hardware-Architekturen wie Digitalen Signal Prozessoren (DSP) und FPGA-Bausteinen, Implementierungsaspekten und möglichen Fehlerquellen (Quantisierungseffekte, Stabilität, Grenzyklen) schließt die Lehrveranstaltung ab.

#### b) Lehrveranstaltung Array Processing (Prof. Dr.-Ing. Andreas Knopp)

In dieser Lehrveranstaltung werden die Studierenden grundlegend in die Anwendungsgebiete und Applikationen von Antennenarrays, Beamforming und räumlichen Filtern eingeführt. Hierbei erwerben sie ein Verständnis über uniforme lineare Arrays, zirkulare Arrays, Array Performance Metriken und Antennenelemente sowie deren Eigenschaften. Die Studierenden werden in das Thema Antennenarrays eingeführt und verstehen die unterschiedlichen Syntheseformen. Sie erlernen Array-Polynome und z-Transformation, das räumliche Abtasttheorem, Binomialarrays, Dolph-Chebyshev Arrays und Villeneuve n-Verteilung und setzen sich mit der Least-Squares Fehlermustersynthese, dem Minimax Design, dem Null-Steering, dem Beam-space-Processing und den räumlich non-uniforme lineare Arrays auseinander. Die Studierenden machen sich mit den Grundlagen der planaren Arrays und Aperturen vertraut. Sie diskutieren parametrische und Wavenumber Modelle, Raum-Zeit-Zufallsprozesse und Snapshot Modelle (Frequenz und Zeit) zur Charakterisierung von Space-Time Prozessen. Die Studierenden erlernen die Themengebiete Beamforming, MMSE Estimators, Maximum SNR Estimators, Multiple Plane Wave Signals (MMSE und MVDR Beamformer), Eigenvektor Beamformer und adaptive Beamformer als Grundlagen der Waveform Estimation. Außerdem erlernen sie das Subspace Verfahren (MUSIC, ESPRIT), die Capon Methode und die Minimum-Norm Methode systematisch auf Fragestellungen zu modell- und leistungsbasierter Parameterschätzung anzuwenden. Die Studierenden vergleichen vertieft die MISO-Systeme, Alamouti-Übertragung, MIMO Systeme, Pre-coding und MIMO Entzerrung und beherrschen somit die wesentlichen Themengebiete im Bereich Beamforming als Variante der Mehrantennenkommunikation.

#### Literatur

- Kammeyer KD, Kroschel K: Digitale Signalverarbeitung. Springer Vieweg, 2012

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oppenheim A, Schafer R: Discrete-Time Signal Processing: Pearson New International Edition. Pearson Education Limited, 2013</li> <li>• Stoica P, Moses R: Spectral Analysis of Signals. Pearson Prentice Hall, 2005</li> <li>• van Trees HL: Detection, Estimation and Modulation Theory – Part IV. Wiley Interscience, 2001</li> <li>• Vucetic B and Yuan J: Space-Time Coding. Wiley, 2003</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schriftliche Prüfung von 90 Minuten Dauer (sP-90) oder mündliche Prüfung von 30 Minuten Dauer (mP-30) am Ende des Frühjahrstrimesters. Die genaue Art der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben</li> <li>• Die Prüfungsergebnisse zu beiden Lehrveranstaltungen gehen zu gleichen Teilen in die Modulnote ein. Die Modulprüfung ist bestanden, wenn beide Lehrveranstaltungen jeweils mit mindestens „ausreichend“ (4.0) bewertet wurden.</li> </ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflichtmodul ME (M.Sc.), Vertiefungsrichtung ITSK</li> <li>• Pflichtmodul EIT (M.Sc.), Vertiefung MSC, Spezialisierung "Connected Life"</li> <li>• Pflichtmodul EIT (M.Sc.), Vertiefung MSC, Spezialisierung "Mobile and Space Communications"</li> <li>• Pflichtmodul EIT (M.Sc.), Vertiefung MSC, Spezialisierung "Transmission Security"</li> <li>• Wahlpflichtmodul INF (M. Sc.) mit Anwendungsfach Elektrotechnik</li> <li>• Wahlpflichtmodul MINT</li> </ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
1 Semester, in jedem FT

Modulname	Modulnummer
Nachrichtentheorie und Übertragungssicherheit	6062

Konto	PFL Module ME-ITSK 2021
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Berthold Lankl	-	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12532	VÜ	Übertragungssicherheit	Pflicht	3
13811	VÜ	Nachrichten- und Informationstheorie	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modul 1077: Signale und Kommunikationssysteme</li> <li>• Modul 1083: Kommunikationstechnik</li> <li>• Modul 1244: Kommunikationstechnik II</li> <li>• Modul 6051: Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik und Antennen</li> <li>• Modul 3402: Elektromagnetische Felder</li> <li>• Modul 3401: Elektrische Leitungen und Wellen</li> </ul>

Qualifikationsziele
<p>Lehrveranstaltung Nachrichten- und Informationstheorie:</p> <p>Die Studierenden kennen informationstheoretische Begriffe und Kenngrößen wie Entropie, wechselseitige Information und Kanalkapazität und können diese für verschiedene Kanäle bestimmen. Sie kennen nachrichtentheoretische Konzepte optimaler Empfänger und können zugehörige theoretische Grenzen ableiten. Sie können heute verwendete Verfahren in diese abstrakteren Konzepte einordnen und bewerten. Die Studierenden sind in der Lage ausgehend von optimalen Empfängerkonzepten aufwandsgünstigere suboptimale Konzepte abzuleiten.</p> <p>Lehrveranstaltung Übertragungssicherheit:</p> <p>Die Studierenden kennen Verfahren und Methoden auf System- und Komponentenebene um die Übertragungssicherheit von Kommunikationssystemen zu bewerten und erlernen Fähigkeiten um Systeme mit erhöhter Übertragungssicherheit zu entwerfen. Die Studierenden gewinnen einen Einblick in die Problemstellungen der Sicherheit moderner Informations-Übertragungssysteme mit dem besonderen Hinblick auf drahtlose</p>

Systeme, welche in den letzten Jahren eine stetig zunehmende Bedeutung erlangt haben. Hierbei werden zuerst Einschränkungen der Informationsübertragungen durch Störungen sowie der Abhörsicherheit durch elektromagnetische Kopplungseffekte und Übersprechen betrachtet, woraufhin die technischen Lösungen zur Reduzierung dieser Einschränkungen dargestellt werden. Den Studierenden wird die Fähigkeit vermittelt, die Übertragungssicherheit gegebener Systeme einschätzen zu können und als Ingenieure die Strategien zur Verbesserung der Übertragungssicherheit zu beherrschen.

### Inhalt

Lehrveranstaltung Nachrichten- und Informationstheorie:

Die Studierenden erlernen informationstheoretische Grundbegriffe wie Entropie, bedingte Entropie, wechselseitige Information, Kanalkapazität und deren Berechnung. Sie erlernen in der Praxis verwendete Verfahren einzuordnen und die Gründe für Abweichungen zu den theoretischen Grenzen zu verstehen. Sie sind damit in der Lage Verbesserungspotentiale zu erkennen und mögliche Lösungen dafür zu entwickeln. Die Studierenden lernen die Signalraumdarstellung (Basisfunktionsentwicklung, irrelevante Signalanteile), Detektionsverfahren (MAP, ML, Euklid'sche Distanz, Signalkonstellationen) und optimale Empfängerkonzepte (Vektordemodulator, Korrelationsdemodulator) und die Abschätzung von deren Fehlerwahrscheinlichkeiten kennen und anhand von Beispielen anzuwenden.

Lehrveranstaltung Übertragungssicherheit:

Teil Systemaspekte zur Verbesserung der Übertragungssicherheit (Lankl)

Die Studierenden lernen die Systemmodellierung, Verfahren zur Störunterdrückung im Zeit- und Frequenzbereich (Störimpulsaustastung, Bandsperre), störresistente Bandspreizverfahren (Direct-Sequence-Spread-Spectrum, Frequency-Hopping) und deren Verhalten bei verschiedenen Störarten (Breitbandstörer, Schmalbandstörer, Pulsstörer) kennen und anhand von Beispielen anzuwenden und entsprechende Kenngrößen zu bestimmen. Sie erlernen die entsprechenden Systemparameter aus Anforderungen zu berechnen.

Teil Verbesserung der Übertragungssicherheit auf physikalischer Ebene (Lindenmeier)

Die Studierenden lernen Beeinträchtigungen der Übertragungsstrecke durch Störungen, Rauschen, Fading und Jamming kennen. Sie lernen elektromagnetische Koppelmechanismen, Übersprechen und entsprechende Entkopplungsmaßnahmen, Schirmung und Filterung kennen. Rauschquellen und dazugehörige Abhilfemaßnahmen werden erlernt. Kenntnisse von Antennendiversity und intelligenten Antennenkonzepten werden vermittelt. Die erlernten Kenntnisse und Methoden werden anhand von Beispielen angewandt und vertieft.

### Literatur

Lehrveranstaltung Nachrichten- und Informationstheorie

- Wozencraft, Jacobs: „Principles of Communication Engineering“, John Wiley 1965
- Gallager: "Principles of Digital Communication", Cambridge University Press, 2008

<b>Lehrveranstaltung</b> Übertragungssicherheit
<ul style="list-style-type: none"><li>• Simon, Omura, Scholtz: "Spread Spectrum Communications Handbook", McGraw-Hill, 2001</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung von 90 min (2x45min) Dauer (sP-90)
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung MSC, Spezialisierung „Connected Life“</li><li>• Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung MSC, Spezialisierung „Mobile and Space Communications“</li><li>• Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung MSC, Spezialisierung „Transmission Security“</li><li>• Pflichtmodul ME, Vertiefung ITKS</li><li>• Wahlpflichtmodul EIT M.Sc.</li></ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
1 Trimester, in jedem HT

Modulname	Modulnummer
<b>Integrierte Anwendungssysteme im Produkt Lifecycle Management</b>	1168

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Karcher	Wahlpflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	60	120	6

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11681	VL	Integrierte Anwendungssysteme im Product Lifecycle Management	Pflicht	3
11682	UE	Integrierte Anwendungssysteme im Product Lifecycle Management	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Wünschenswert aber nicht notwendig sind Kenntnisse im Bereich Unternehmensstrukturen, wie sie in den Vorlesungen "Wirtschaftsinformatik 3", "Projektmanagement" und "Enterprise Architecture und IT Service Management" vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

Das Modul bietet einen theoretisch fundierten und gleichzeitig praxisnahen Einblick in komplexe Einsatzfelder von Anwendungssystemen in produktzentrierten Wertschöpfungsketten. Die Teilnehmer erwerben umfassende Fähigkeiten und vertiefende Kenntnisse, die zur systematischen und modellbasierten Spezifikation, Entwicklung, Einführung und Anpassung integrierter Anwendungssysteme erforderlich sind. Dazu gehören das breite Grundverständnis der domänenspezifischen Anforderungen sowie allgemeine Grundlagen über Aufbau und Funktion der eingesetzten Standardsysteme. Den Überbau bilden die zu vermittelnden Kenntnisse und Fähigkeiten bezogen auf Modellbildung, Vorgehenssystematik, Referenzmodelle und Standards.

## Inhalt

Im Modul Integrierte Anwendungssysteme im Product Lifecycle Management stehen industrielle, produktzentrierte Wertschöpfungsketten im Mittelpunkt der Betrachtung. Die rechnerbasierte Entwicklung und Verwaltung von komplexen Produkten und Systemen gehört bereits seit den Anfängen der Informatik zu deren wichtigsten Anwendungsfeldern. Wo der Rechner im Kontext des so genannten Computer Aided Design (CAD) ursprünglich das Zeichenbrett der Ingenieure ablöste und damit die Digitalisierung des kompletten Produktentwicklungsprozesses initiierte, gilt es heute mit Verfahren und Methoden der (Wirtschafts-) Informatik integrierte Anwendungssysteme zu konzipieren, zu entwickeln und an die sich permanent ändernden Randbedingungen von produzierenden Unternehmen anzupassen.



Das Aufgabenspektrum reicht dabei von der ersten Produktidee über die Gestaltung, die Produktion, den Vertrieb bis hinein in die Betriebs- und Wartungsphase der Produkte und Systeme - das so genannte Product Lifecycle Management (PLM). Die enorme Komplexität, die mit der Bereitstellung aller Daten und Dokumente in zunehmend verteilten und unternehmensübergreifenden PLM-Prozessen verbunden ist, ist ohne entsprechend integrierte Anwendungssystemlandschaft nicht mehr beherrschbar.

Das Modul vermittelt hier den Studierenden einen fundierten Einblick in die Anwendungssysteme des Product Lifecycle Managements. Dabei erfolgt zunächst eine allgemeine Einführung in die Anforderungen und die entsprechenden PLM-Wertschöpfungsketten. Darauf aufsetzend wird dann im zweiten Teil die Architektur und Schnittstellenproblematik typischer verteilter PLM-Anwendungssysteme vertieft und an Praxisbeispielen verdeutlicht.

Abschließend wird die Thematik der systematischen, unternehmensspezifischen Spezifikation, Ersterstellung und Anpassung (Customizing) von am Markt verfügbaren PLM-Anwendungssystemen auf der Basis von Standards und Referenzmodellen verankert.

Einblicke in konkrete Fallbeispiele und Industrieprojekte runden das Modul ab.

#### Lehrmethoden

Das Modul unterteilt sich in eine Vorlesung und eine Übung pro Woche.

Es werden sowohl Lehrmethoden des fremdgesteuerten als auch des selbstgesteuerten Lernens angewendet.

Es wird auf die individuellen Voraussetzungen der Studierenden eingegangen, wobei hauptsächlich ein lehrgangsförmiger und kooperativer Unterricht mit Einzelarbeit stattfindet.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung von 60 Minuten Dauer oder mündliche Prüfung von 30 Minuten Dauer oder leistungsbezogener Notenschein.

Die Art der Prüfung wird jeweils zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.

#### Verwendbarkeit

Die im Wahlpflichtmodul erworbenen Kenntnisse bereiten durch die Behandlung unternehmensbezogener Problemfelder und praxisorientierter Beispiele auf die industrielle Praxis vor. Es stellt Basiswissen für die Masterstudiengänge im Bereich Informatik/Wirtschaftsinformatik/Ingenieurinformatik/Cyber Sicherheit dar und ergänzt sich mit den Wahlpflichtmodulen für "Projektmanagement" und "Enterprise Architecture und IT Service Management".

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Herbsttrimester.

Modulname	Modulnummer
<b>Algorithmen in der Mathematik</b>	1211

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. Cornelius Greither	Pflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
270	96	164	9

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12111	VÜ	Algorithmische Zahlentheorie	Pflicht	5
12112	VÜ	Ausgewählte mathematische Methoden in Kryptographie und Codierungstheorie	Wahlpflicht	3
12113	VÜ	Quantencomputer	Wahlpflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>8</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Generelles Interesse an Mathematik und Theorie. Es ist nützlich, Modul "Elementare Zahlentheorie und Kryptographie" absolviert zu haben, aber bei entsprechender Einsatzbereitschaft nicht unbedingt notwendig.

#### Qualifikationsziele

Einerseits hinreichende Vertrautheit mit den theoretischen Grundlagen; andererseits die Fähigkeit, bestehende Verfahren korrekt zu beurteilen und einzuordnen, und eventuell bei der Entwicklung neuer Verfahren zu assistieren.

#### Inhalt

Die Veranstaltung "Algorithmische Zahlentheorie" behandelt Grundbegriffe und wichtige Algorithmen aus der algebraischen Zahlentheorie, unter anderem Primzahlen und ihre Verallgemeinerungen, Primalitätstest, Faktorisierungsmethoden, und den Umgang mit elliptischen Kurven. Kryptographische Anwendungen werden im Blick behalten, sie sind aber nicht alleiniger Ausgangspunkt.

Die Veranstaltung "Ausgewählte mathematische Methoden der Kryptographie und Codierungstheorie" befasst sich mit ausgewählten und fortgeschrittenen Themen aus der Kryptographie und/oder der Codierungstheorie. Hierhin gehören kryptographische Verfahren, die auf zahlentheoretischen Ergebnissen aufsetzen, und "gute" Codes, die man mit Hilfe von algebraischen Kurven gefunden hat. Sowohl kryptographische als auch codierungstheoretische Inhalte sind vorgesehen; die Gewichtung zwischen diesen beiden Gebieten kann aber variieren.

In der Veranstaltung "Quantencomputer" wird das Modell des Quantencomputers vorgestellt. Seit Jahrzehnten gibt es nämlich die Hoffnung, dass man durch effizientes

Ausnutzen von quantenmechanischen Vorgängen Computer bauen kann, die bestimmte Berechnungsprobleme schneller lösen können als herkömmliche Computer. Zuerst werden einige mathematische Grundlagen gelegt, und es wird eine kurze Einführung in die notwendigen Begriffe der Quantenmechanik gegeben. Dann wird das Modell des Quantencomputers eingeführt, und es werden verschiedene Algorithmen für Quantencomputer behandelt, unter anderem der Algorithmus von Grover und der berühmte Faktorisierungsalgorithmus von Shor. Auch Komplexitätstheoretische Aspekte werden besprochen.
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung von 60 min oder mündliche Prüfung von 30 min am Ende des WT oder des HT. Ankündigung der Prüfungsform am Anfang des HT.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 bis 2 Semester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Herbstsemester. Als Startzeitpunkt ist das Herbstsemester im 1. Studienjahr vorgesehen.
<b>Sonstige Bemerkungen</b>
Neben der Pflichtveranstaltung "Algorithmische Zahlentheorie" ist eine der beiden anderen Vorlesungen mit Übungen im Umfang von 3 TWS zu belegen.

Modulname	Modulnummer
Formale Entwicklung korrekter Software	1518

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. Birgit Elbl Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Siegle	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	60	120	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15171	VÜ	Entwurf Verteilter Systeme	Wahlpflicht	5
15172	VÜ	Methoden und Werkzeuge	Wahlpflicht	5
15174	VÜ	Spezifikation	Wahlpflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden die im Bachelor-Studium erworbenen Grundkenntnisse und Fertigkeiten in diskreter Modellierung (elementare Logik und Mengenlehre), systematischer Programmentwicklung und Theoretischer Informatik. Für den "Entwurf verteilter Systeme" wird darüber hinaus Vertrautheit mit Grundlagen der Architektur und dem Entwurf von Rechen- und Kommunikationssystemen erwartet.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden erhalten einen Überblick über die wichtigsten Methoden und Werkzeuge für die formale Entwicklung korrekter Software, von der Spezifikation bis hin zum Entwurf verteilter Systeme. Sie erwerben die Kompetenz, diese im Entwurfsprozess gewinnbringend einzusetzen, d.h. einschlägige Verfahren und Werkzeuge auszuwählen und effizient anzuwenden.

#### Inhalt

Ein Schwerpunkt der Vorlesung "Spezifikation" sind abstrakte Datentypen, bei denen sowohl die initiale Semantik, als auch lose Spezifikationen behandelt werden. Den Studierenden werden Ansätze zur Strukturierung und zum schrittweisen Aufbau von Spezifikationen vorgestellt. Sie sehen Beispiele für die schrittweise Entwicklung von programmnahe aus rein deskriptiven Spezifikationen. Sie lernen die Kernbegriffe Verfeinerung, Erweiterung und abstrakte Implementierung kennen und deren Rolle bei der Entwicklung von Spezifikationen. Beispiele sind u.a. den Bereichen Spezifikation komplexer Datenstrukturen und zustandsorientierte Spezifikation sequentieller Systeme entnommen. Den Abschluss bildet eine kurze Einführung in die temporale Spezifikation nebenläufiger Systeme.

In der Vorlesung "Entwurf verteilter Systeme" werden formale Methoden vorgestellt, mit deren Hilfe die Struktur und das dynamische Verhalten von komplexen verteilten (oder allgemeiner ausgedrückt: nebenläufigen) Systemen spezifiziert werden kann. Wir behandeln insbesondere die beiden Spezifikationsformalismen Petrinetze und Prozessalgebren, und diskutieren ihre mathematischen Eigenschaften und die darauf aufbauenden Analyseverfahren.

Weiterhin behandeln wir die Frage nach der Formalisierung von Anforderungen an ein solches verteiltes System, wobei sich temporale Logiken als wertvolle Hilfsmittel erweisen. Es wird gezeigt, wie man mit der Methode des Model Checking komplexe, temporal spezifizierte Anforderungen automatisch überprüfen kann.

Neben den Verifikationsalgorithmen für die weit verbreitete Logik CTL werden Erweiterungen in Richtung von Realzeiteigenschaften angesprochen. In den Übungen erhalten die Studierenden auch Gelegenheit, entsprechende Software-Werkzeuge kennenzulernen und selbst zu erproben.

Die Vorlesung "Methoden und Werkzeuge" macht die Studierenden mit Systemen zur modellbasierten Spezifikation von Software (wie JCL, OCL und Z) bekannt. Fallstudien werden vorgestellt, von den Studierenden ergänzt und auf Konsistenz untersucht, wobei sie u.a. Methoden und Werkzeuge des Model Checking (z.B. Alloy) einzusetzen lernen.

Die Studierenden befassen sich mit der systematischen Herleitung korrekter Software, entweder durch Programmtransformation oder durch zielgerichtete Programmherleitung (z.B. mit VDM). Sie lernen, mit Hilfe von Werkzeugen (wie Spark) die Korrektheit von Software praktisch nachzuweisen. Dazu bearbeiten sie in Übungen und Hausaufgaben auch über Spielbeispiele hinausgehende Fallstudien.

#### Leistungsnachweis

Das Modul wird per Notenschein geprüft. Es ist eine der drei Vorlesungen (mit Übung) zu belegen.

#### Verwendbarkeit

Bei sicherheitskritischer Software ist Korrektheit das wichtigste Qualitätskriterium. Modellbasiertes, formales Vorgehen ist für den Entwurf moderner, komplexer Systeme (sowohl Software als auch Hardware) unerlässlich. Daher ergänzen die hier erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten die Ausbildung im Bereich der Softwaretechnik um einen Aspekt von hoher praktischer Bedeutung.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester.

#### Sonstige Bemerkungen

Jedes Jahr wird mindestens eine Vorlesung (mit Übung) angeboten, so dass 6 ECTS-Punkte erreichbar sind. Jeweils zu Beginn des Masterstudiums wird den Studierenden das konkrete Angebot erläutert.

Modulname	Modulnummer
<b>Benutzbare Sicherheit</b>	3665

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. Florian Alt	Wahlpflicht	4

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
270	108	162	9

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
36651	VÜ	Benutzbare Sicherheit	Pflicht	3
36653	P	Praktikum Design sicherer und benutzbarer Systeme	Pflicht	3
3665-V1	VÜ	Sichere Mensch-Maschine Schnittstellen	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>9</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Für die Teilnahme an diesem Modul werden Grundkenntnisse in der Informatik und in der Programmierung vorausgesetzt. Insbesondere Erfahrung mit Android und Web-Programmierung sind von Vorteil. Hilfreich sind außerdem Grundkenntnisse in der Mensch-Maschine Interaktion. Folgende Literatur kann zur Vorbereitung dienen:

- Butz, Andreas, and Antonio Krüger. Mensch-Maschine-Interaktion. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2017.
- Cranor, Lorrie Faith, and Simson Garfinkel. Security and usability: designing secure systems that people can use. O'Reilly Media, Inc., 2005.
- Lazar, Jonathan, Jinjuan Heidi Feng, and Harry Hochheiser. Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann, 2017.
- Oates, Briony J. Researching information systems and computing. Sage, 2005.

## Qualifikationsziele

In diesem Modul erlernen die Teilnehmer die Fähigkeit, sich beim Design sicherer Systeme kritisch mit dem Faktor „Mensch“ auseinanderzusetzen. Insbesondere wird ein Verständnis für Anforderungen solcher Systeme hinsichtlich ihrer Sicherheit aber auch ihrer Benutzbarkeit geschaffen.

Den Studierenden werden Grundlagen der Mensch-Maschine Interaktion und der benutzbaren Sicherheit (Grundbegriffe, Sicherheitsmechanismen, Bedrohungsmodelle) vermittelt. Sie erarbeiten sich tiefgehende, methodische Kenntnisse, welche es ihnen ermöglichen, Konzepte und Systeme zu entwickeln und hinsichtlich ihrer Sicherheit und Benutzbarkeit zu evaluieren. Basierend auf dem theoretischen Grundlagen- und

Methodenwissen wird im praktischen Teil des Moduls die Fähigkeit zur Konzeption und praktischen Umsetzung sicherer und benutzbarer Systeme vertieft.

## Inhalt

Technologie kann nicht die alleinige Lösung für Herausforderungen im Bereich IT-Sicherheit sein. Wir sind heute in der Lage, Mechanismen zu schaffen, die aktuell nicht brechbar sind. Trotzdem ist Sicherheit in vielen Bereichen immer noch ein ungelöstes Problem, da viele der von uns entwickelten Systeme und Mechanismen nicht nutzbar sind. Das hat zur Folge, dass Menschen freiwillig oder unfreiwillig Wege finden, solche Mechanismen auszuhebeln. Menschliche Faktoren spielen eine zentrale Rolle in der IT-Sicherheit. Daher ist es wichtig, dass Experten für Benutzbare Sicherheit ein Verständnis dafür entwickeln, wie Menschen mit den von uns entwickelten Systemen interagieren. Dieses Modul führt die Teilnehmer in eine Vielzahl von Herausforderungen in Bezug auf die Benutzerfreundlichkeit und die Sicherheit in ubiquitären Systemen ein. Es vermittelt die theoretischen, methodischen und praktischen Grundlagen für das Design sicherer und benutzbarer Systeme.

Hierfür dienen drei Lehrveranstaltungen:

**Sichere Mensch-Maschine-Schnittstellen** – Die Veranstaltung vermittelt Grundlagenwissen für die Konzeption, das Design und die Evaluierung benutzbarer und gleichzeitig sicherer Mensch-Maschine-Schnittstellen. Hierfür werden im ersten Teil die Informationsverarbeitung des Menschen (physiologische und psychologische Grundlagen, Modelle, Handlungsprozesse) sowie die technische Realisierung von Benutzungsschnittstellen (Ein- und Ausgabegeräte, Interaktionsstile) behandelt sowie benutzerorientierte Entwurfsprozesse, Richtlinien und Standards für Benutzbarkeit und Sicherheit vorgestellt. Der zweite Teil widmet sich der Evaluation und der Bewertung von Mensch-Maschine Schnittstellen hinsichtlich verschiedener Kriterien. Dies erfordert ein breites Wissen in der Forschungsmethodik. Daher werden verschiedene Studientypen (z.B. deskriptive Studien, relationale Studien, experimentelle Studien), Studienparadigmen (u.a. Ethnographie, Laborstudien, Feldstudien, Deployments) sowie Datenerhebungsmethoden (z.B. Fragebögen, Interviews, Beobachtungen, Experience Sampling und Crowdsourcing) behandelt.

**Benutzbare Sicherheit** – Diese Vorlesung gibt einen Überblick über Herausforderungen hinsichtlich der Benutzbarkeit sicherer und benutzbarer Systeme. Die Studierenden lernen verschiedene Sicherheits-Mechanismen und mentale Modelle der Benutzer kennen. Zudem erhalten sie eine Einführung in die Modellierung von Bedrohungen. Insbesondere behandelt die Veranstaltung aktuelle Themen der Benutzbaren Sicherheit, unter anderem, Authentifizierung, Passwörter und Social Engineering. Die Lehrveranstaltung richtet sich sowohl an Studierende, die an Sicherheit und Datenschutz interessiert sind und mehr über Benutzbarkeit erfahren möchten, als auch an Studierende, die an Benutzbarkeit interessiert sind, aber mehr über Sicherheit und Datenschutz erfahren möchten.

**Design sicherer und benutzbarer Systeme** – Ziel dieses Praktikums ist das Erlernen benutzer-zentrierter Techniken für die Konzeption, das Design und die Umsetzung sicherer und benutzbarer Systeme. Die Teilnehmer dieser Lehrveranstaltung wenden



hierzu einen benutzer-zentrierten Designprozess an. In Gruppen werden neuartige Konzepte erarbeitet. Ausgewählte Konzepte werden anschließend prototypisch umgesetzt und mithilfe von Benutzerstudien hinsichtlich Sicherheit und Benutzbarkeit getestet.

**Leistungsnachweis**

Das Modul wird mit einem Notenschein abgeschlossen.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 2 Semester und beginnt jedes Jahr im WT.

Modulname	Modulnummer
Netzicherheit	5502

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. Gabi Dreo Rodosek	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	72	108	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10102	VÜ	Netzicherheit	Pflicht	3
10103	P	Praktikum Netzicherheit	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundlegende Kenntnisse zu Rechnernetzen, wie sie z.B. in der Bachelor-Vorlesung Einführung in Rechnernetze vermittelt werden.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden lernen in der Vorlesung Netzicherheit die Gefährdungsaspekte von Netzen und deren Entwicklung detailliert kennen. Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden befähigt, sicherheitsrelevante Aspekte in vernetzten Strukturen zu erkennen und Betrachtungen von Netzen in Bezug auf Sicherheitsaspekte durchzuführen. Sie werden in die Lage versetzt, Verfahren zum Schutz und der Absicherung der jeweiligen Netze zu identifizieren. Mittels der Vorstellung von aktuellen Geräten und neuer Verfahren werden die Studierenden zusätzlich befähigt, Abschätzungen von Sicherheitsgefährdungen durch neue Technologien zu geben.

Nach dem Praktikum Netzicherheit sind die Studierenden in der Lage, Maßnahmen zur Abwehr von gängigen Bedrohungen und zur Absicherung von IT-Systemen zu implementieren und deren Wirksamkeit zu verifizieren. Durch die eigenständige Bearbeitung von angeleiteten, praktischen Aufgaben vertiefen und festigen die Studierenden ihre Kenntnisse im Bereich Cyber-Sicherheit.

#### Inhalt

In der Vorlesung Netzicherheit erhalten Studierende einen vertieften Einblick in Fragestellungen der Netzicherheit. Hierbei werden zunächst die Sicherheitsbedrohungen im Wandel von klassischen Angriffen hin zum Cyber War mit Schadsoftware und deren Verbreitung betrachtet, sowie u.a. aktive und passive Angriffe, Blended Attacks, Web Hacking, Spam, Botnetze und Aspekte der Internet-Kriminalität behandelt.

Im weiteren Verlauf stehen sowohl Firewall-Architekturen, -konzepte, -Systeme als auch Intrusion Detection und Prevention Systeme, Honeypots (Low- und High-Interaction), Honeynets sowie Early Warning Systeme im Fokus. Eine vertiefende Auseinandersetzung mit sicherheitsrelevanten Protokollen wie IPsec und den Auswirkungen der breitbandigen Nutzung von IPv6 auf die Netzicherheit ist ebenso Bestandteil der Vorlesung. Wesentliche Techniken und Besonderheiten neuer Verfahren und Ansätze zur Angriffserkennung im Bereich der mobilen Endgeräte wie Smartphones und Tablet-PCs sowie des Cloud Computings schließen die Thematik ab.

Schwerpunkt im Praktikum Netzicherheit ist die selbstständige Durchführung von praktischen Aufgaben zu aktuellen Themen und Fragestellungen der Absicherung von IT-Systemen. Zu Beginn werden einfache Angriffe auf den Ebenen 2 bis 4 sowie 7 des ISO/OSI-Referenzmodells vorgestellt, bspw. durch die Manipulation von ARP, Subnetting oder Angriffe gegen Webseiten auf Applikationsebene (z.B. XSS). Entsprechende Gegenmaßnahmen werden untersucht und integriert (z.B. Einrichtung und Betrieb einer Firewall, Absicherung von Webservern, Aufbau und Betrieb von Tunneln). Darauf aufbauend werden weitere, aktuelle Angriffsverfahren behandelt, bspw. Bot-Netz-Attacken oder spezialisierte Angriffe wie z.B. zielgerichtete Angriffe. Hierzu werden ebenfalls geeignete Gegenmaßnahmen entwickelt und praktisch implementiert (z.B. Intrusion Detection/Prevention Systeme, low/high interaction Honeypots/Honeynets).

#### Leistungsnachweis

Notenschein, der zwei Teilleistungen umfasst. Zur Vorlesung ist eine schriftliche Prüfung mit 60 Minuten Dauer oder eine mündliche Prüfung mit 20 Minuten Dauer abzulegen; die Prüfungsform wird zu Beginn des Moduls festgelegt. Eine Wiederholmöglichkeit besteht im Sommer (am Ende des FT).

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester.

Modulname	Modulnummer
Hardwaresicherheit	5503

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Ph.D. M.S. (OSU) Klaus Buchenrieder	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	72	108	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10311	VÜ	Eingebettete Systeme	Pflicht	3
55031	VÜ	Embedded Systems Security	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Voraussetzung für alle Modulbestandteile sind Kenntnisse in Rechnerarchitektur. Für Eingebettete Systeme sind zusätzlich Kenntnisse zu Rechnerorganisation notwendig, wie sie im Bachelor-Modul Rechnerorganisation vermittelt werden.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden vertiefen die Kompetenz, das grundlegende Verhalten und die wesentlichen Aufgaben von hardwarenahen Rechnersystemen in der Praxis zu verstehen und zu bewerten. Sie können Eigenschaften von hardwarenahen Rechnersystemen fachwissenschaftlich einordnen und haben damit die Grundlage, die Verwendbarkeit dieser Konzepte für bestimmte praktische Anwendungen zu bewerten. Die Studierenden wissen, wie eingebettete Systeme hinsichtlich der Übertragung, Verarbeitung und Speicherung von Daten abzusichern sind. Sie kennen technische und physische Angriffsvarianten wie Seitenkanalangriffe und wissen, wie Software-Implementierungen dagegen gehärtet werden können.

#### Inhalt

In diesem Modulbestandteil erhalten die Studierenden einen umfassenden Überblick über die wesentlichen Grundlagen und Konzepte, die zum Entwurf eingebetteter Systeme notwendig sind. Zu Beginn werden die Kenntnisse über Hardware-Konzepte aus dem Modul "Rechnerorganisation" vertieft und darauf aufbauend Mikro- und spezielle Architekturen entwickelt. Neben den gängigen Prozessorarchitekturen werden digitale Signalprozessoren (DSP) und System-on-Chip Architekturen eingeführt. Zu Themen der maschinennahen Programmierung von Mikroprozessoren und Mikrokontrollern werden Konzepte und Probleme der Verarbeitung von Events und Daten unter Echtzeitbedingungen behandelt. Nach der Einführung asynchroner Ereignisse und den dazu gehörenden Zeitbedingungen werden grundlegende Verfahren zur Ereignissynchronisation beschrieben und Prozessplanungsverfahren vorgestellt. Im dritten Abschnitt des Modulbestandteils wird auf die Entwurfsmethodik für die

Konstruktion leistungsfähiger Eingebetteter Systeme eingegangen. In der Übung zur Vorlesung wird hardwarenahe Software in Kleingruppen entwickelt, in Betrieb genommen und getestet.

In der Vorlesung Embedded Systems Security wird nach einem Überblick über typische Architekturen und Eigenschaften von zeitgemäßen eingebetteten Systemen ein Schwerpunkt auf mögliche Angreifer auf solche Systeme gelegt. Ausgehend davon, dass typische Angreifer Hardware-Zugriff haben, werden verschiedene Angriffsmöglichkeiten erläutert und zueinander in Kontext gesetzt. Anhand von typischen Hardware-Chips werden Sicherheitsmechanismen und dedizierte Sicherheitschips besprochen. Danach wird ein Schwerpunkt auf kryptographische Algorithmen und deren Implementierung in eingebetteten Systemen gelegt. Dabei werden die schwerwiegenden sogenannten Seitenkanalangriffe behandelt. Danach wird die Implementierung von Sicherheitsmechanismen gegen vorgestellte Angriffe thematisiert. FPGA Zielplattformen sind in speziellen Einsatzbereichen sehr relevant. Die Informationssicherheit von Systemen auf deren Basis wird eigens behandelt. Schlußendlich wird noch die Kommunikationssicherheit von eingebetteten Systemen erläutert. In der Übung wird ein beispielhaftes eingebettetes  $\mu\text{C}$ -System anhand der in der Chip-HW vorhandenen Sicherheitsmechanismen gehärtet. Danach wird eine kryptographische Implementierung auf diesen  $\mu\text{C}$  portiert und ein Seitenkanalangriff durchgeführt.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung mit 60 Minuten Dauer, mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer oder Notenschein. Die Prüfungsform wird zu Beginn des Moduls festgelegt.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 2 Trimester.

Modulname	Modulnummer
Datenschutz und Privacy	5504

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. Arno Wacker	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	72	108	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
55041	VÜ	Datenschutz	Pflicht	3
55042	VÜ	Privacy Enhancing Technologies	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundlegende Kenntnisse der Informatik, wie sie im Bachelor-Studium vermittelt werden.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden kennen die Ziele und Grundbegriffe des Datenschutzes. Sie können erkennen, welche Vorgänge datenschutzrelevant sind und welche gesetzlichen und branchenspezifischen Regelungen dabei berücksichtigt werden müssen. Sie können Folgeabschätzungen für neue Technologien und Verfahren vornehmen und aktuelle technische Schutzmaßnahmen anwenden. Die Studierenden können die Datenschutzrelevanz passiver und aktiver Angriffe wie Verkehrsanalysen beurteilen und Abwägungen zwischen hoher Schutzwirkung und anderen Merkmalen wie Kosten, Bandbreite und Latenz treffen. Sie kennen Ansätze wie Differential Privacy, Multi-Party-Computation und Homomorphe Verschlüsselung und können deren Anwendungsgebiete voneinander abgrenzen

#### Inhalt

Ziel der Vorlesung "Datenschutz" ist es, verstehen und begründen zu können, was Privacy ist und warum sie sowohl für Einzelne als auch für demokratische Gesellschaften von Bedeutung ist. Es wird ein kurzer Überblick über die Entwicklung der Privatheit in der menschlichen Geschichte gegeben und gezeigt, was die aktuelle rechtliche Lage insbesondere in Deutschland und der EU bezüglich Datenschutzes ist. Der Fokus wird dabei auf der Datenschutz-Grundverordnung der EU (DSGVO) liegen. Es werden u.a. Grundbegriffe des Datenschutzes erläutert und die Datenschutz-Grundsätze vorgestellt. Ein Schwerpunkt dieser Vorlesung werden verschiedene technische Maßnahmen zur Umsetzung des Datenschutzes sein, z.B. technische Umsetzung des Rechts auf Löschen.

<p>Der Fokus der Vorlesung "Privacy Enhancing Technologies" (PETs) liegt auf der technischen Unterstützung sowie Umsetzung von Datenschutz und Privatheit. Es werden zunächst die Prinzipien von PETs sowie die grundlegenden Ansätze zu deren Umsetzung, wie z.B. Privacy by Design, Kryptographie oder Multi-Party Computation, vorgestellt und analysiert. Anschließend werden sowie theoretische Konzepte als auch bereits die in der Praxis umgesetzte Konzepte, Methoden und Werkzeuge der PETs betrachtet, z.B. Funktionsweise und Einsatzgebiete von Blockchain oder der ePass. Um das Wissen über verschiedene Möglichkeiten zum Schutz der eigenen Daten in deren gesamten Lebenszyklus anschaulich zu vermitteln, werden Daten in sechs verschiedene Bereichen eingeteilt und getrennt betrachtet: (1) Authentifizierung, (2) Daten auf lokalen Systemen (Data-at-Rest), (3) Daten in Übertragung (Data-in-Motion), (4) Daten Online/ im Web, (5) Online-Banking und anonymes Bezahlen, (6) Privatheit auf mobilen Geräten. Für jeden dieser Bereiche werden zunächst die Risiken für die Privatheit analysiert und anschließend mögliche Methoden und Techniken für Gegenmaßnahmen vorgestellt und diskutiert.</p>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung mit 60 Minuten Dauer oder mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer oder Notenschein. Die Prüfungsform wird zu Beginn des Moduls festgelegt.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester.

Modulname	Modulnummer
<b>Systemsicherheit</b>	5505

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. Gunnar Teege	Pflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	72	108	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10104	VÜ	IT-Forensik	Pflicht	3
55051	VÜ	Betriebssystemsicherheit	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundlegende Kenntnisse zu Betriebssystemen, wie sie z.B. im Bachelor-Modul Einführung in die Technische Informatik vermittelt werden.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden lernen die wesentliche Rolle kennen, die das Betriebssystem für die Absicherung von Computersystemen spielt und die dabei verwendeten Vorgehensweisen und nötigen Hardware-Voraussetzungen, aber auch die Grenzen rein technischer Maßnahmen. Damit sind sie in der Lage, die Wirksamkeit von Sicherheitsmaßnahmen einzuordnen und Sicherheitseigenschaften von Betriebssystemen abhängig von der Einsatzumgebung zu bewerten. Sie erhalten eine erste Orientierung zum Vorgehen bei der Absicherung von IT-Systemen durch Auswahl und Konfiguration des Betriebssystems und den Einsatz spezieller Sicherheitsmechanismen.

Die Studierenden entwickeln ein Verständnis für die Prinzipien und Vorgehensweisen bei der Untersuchung von Sicherheitsvorfällen. Sie kennen die grundlegenden Schritte eines Computerforensikers und können diese auf konkrete Angriffsszenarien anwenden. Insbesondere verstehen sie die verschiedenen Analysemethoden und sind in der Lage, diese in Form einer gerichtsverwertbaren Aufarbeitung anwenden zu können. Ferner beherrschen sie die forensische Analyse einer Festplatte mittels Open-Source-Tools sowie die Erarbeitung von Konzepten zur Sicherheitsüberprüfung komplexer Systeme.

#### Inhalt

Zu den Sicherheitsaspekten von IT-Systemen, die typischerweise durch das Betriebssystem implementiert werden, gehören klassischerweise die Zugangs- und Zugriffskontrolle und die Bildung verschiedener Schutzbereiche zur Ausführung von Anwendungen. In der Veranstaltung Betriebssystemsicherheit werden zuerst die wesentlichen Mechanismen zur Absicherung von Software, insbesondere des Betriebssystems selbst vorgestellt (secure boot, Festplattenverschlüsselung,



Hauptspeicherverschlüsselung). Anschließend werden Maßnahmen zur Herstellung von Vertraulichkeit innerhalb eines Rechners betrachtet und Angriffe darauf (Verdeckte Kanäle, Seitenkanäle). Im zweiten Teil der Veranstaltung werden Autorisierungssysteme vorgestellt. Dabei wird ihre Struktur betrachtet, allgemeine Eigenschaften und Grenzen (Safety-Problem) und der Umgang mit diesen Systemen (Sicherheitsmodelle, mandatory / discretionary access control). Abschließend werden Bewertungskriterien für die Sicherheit von Rechensystemen behandelt mit Schwerpunkt auf dem Common Criteria Standard.

IT-Forensik beschäftigt sich mit der Untersuchung von Vorfällen (Incidents) von IT-Systemen. Durch Erfassung, Analyse und Auswertung digitaler Spuren in Computersystemen werden nach Möglichkeit sowohl der Tatbestand als auch der oder die Täter festgestellt. Im Rahmen der Veranstaltung erhalten die Studenten zunächst einen grundlegenden Überblick über die Thematik IT-Forensik. Im nächsten Schritt erfolgt ein vertiefender Einblick in den Aufbau von Speichermedien (Festplatten, Flashspeicher, Magnetbänder) sowie Arten, Standards, Schnittstellen (Aufbau und Analyse von Standarddateisystemen, bspw. FAT, NTFS, ext4fs). Darauf aufbauend erfolgt eine Klassifikation von Datenträgern, Partitionierungsverfahren sowie prinzipiellen Analysemöglichkeiten (z.B. vor dem Hintergrund einer Verschlüsselung von Dateien). Als nächstes werden typische Angriffsmethoden untersucht, bevor am praktischen Beispiel einer forensischen Post-Mortem-Analyse ein konkretes Szenario bearbeitet wird. Hierbei wird u.a. ein spezieller Fokus auf die Einbeziehung von Behörden im Sinne einer gerichtsverwertbaren Auswertung gelegt.

#### Literatur

Zur Vorlesung Betriebssystemsicherheit: Es gibt kein Lehrbuch, das genau den Vorlesungs-Inhalt abdeckt. In den folgenden Büchern werden Themen aus der Vorlesung behandelt, sie sind als vertiefende Literatur verwendbar:

- Andrew S. Tanenbaum: Moderne Betriebssysteme, Pearson Studium, 3. Auflage, 2009
- Claudia Eckert: IT-Sicherheit, DeGruyter, Oldenbourg, 9. Auflage, 2014
- Trent Jaeger: Operating Systems Security, Morgan & Claypool, 2008
- Joachim Biskup: Security in Computing Systems, Springer, 2009.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung mit 60 Minuten Dauer.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester.

Modulname	Modulnummer
Anwendungssicherheit	5507

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Hommel	Pflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	72	108	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10107	VÜ	Sichere vernetzte Anwendungen	Pflicht	3
55071	VL	Language-based Security	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Gute Kenntnisse in den Bereichen Programmiersprachen, Compiler und systemnahe Programmierung werden vorausgesetzt.

#### Qualifikationsziele

Es wird die Kompetenz vermittelt, grundlegende Designfehler, weit verbreitete Sicherheitslücken und typische Implementierungsfehler auf Quelltextebene zu erkennen und zu vermeiden. Studierende lernen praxisrelevante Penetration-Testing-Ansätze, ausgewählte wichtige Software-Härtungsmaßnahmen und Bausteine sicherer vernetzter Anwendungen samt ihren betrieblichen Aspekten kennen.

Studierende erwerben fundierte Kenntnisse zu aktuellen Angriffen und Verteidigungstechniken. Behandelte Techniken werden sowohl theoretisch als auch praktisch behandelt, sodass Studierende neben Faktenwissen zu den jeweiligen Techniken auch jene Methodenkompetenzen erwerben, die es ihnen erlaubt, Sicherheitsfragestellungen aus Programmiersprachen-Sicht kompetent zu beantworten.

#### Inhalt

Die Vorlesung Entwicklung und Betrieb sicherer vernetzter Anwendungen betrachtet Methoden, Konzepte und Werkzeuge zur Absicherung von verteilten Systemen über deren gesamten Lebenszyklus. Anhand von Webanwendungen und anderen serverbasierten Netzdiensten werden zunächst Angreifer-, Bedrohungs- und Trustmodelle sowie typische Design-, Implementierungs- und Konfigurationsfehler und deren Zustandekommen analysiert. Auf Basis dieser Grundlagen wird ein systematisches Vorgehen bei der Entwicklung möglichst sicherer vernetzter Anwendungen erarbeitet. Nach einem Überblick über die Besonderheiten der auf IT-Sicherheitsaspekte angepassten Entwicklungsprozesse werden ausgewählte Methoden und Werkzeuge, u.a. zur statischen bzw. dynamischen Code-Analyse und für Penetration Tests, und ihr Einsatz in den einzelnen Phasen des Softwarelebenszyklus mit den Schwerpunkten

Implementierung und operativer Einsatz vertieft. Am Beispiel von Authentifizierungs- und Autorisierungsverfahren u.a. auf Basis von LDAP, SAML, XACML und OAuth wird die Integration klassischer und moderner Access-Control-Modelle in neu entwickelte Systeme und Legacy-Anwendungen mit ihren betrieblichen Aspekten, u.a. Management und Skalierbarkeit, diskutiert. Nach einem Überblick über aktuelle Härtings- und Präventionsansätze in Compilern, Betriebssystemen und Libraries werden ausgewählte Ansätze zur Analyse von Exploits und Malware behandelt. Unter dem Stichwort Ethical Hacking werden abschließend Vorgehensweisen bei der Responsible Disclosure identifizierter Schwachstellen diskutiert, die zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Sicherheitseigenschaften komplexer Anwendungen führen.

Ziel der Vorlesung Language-based Security ist es, Grundlagen aus der sprachbasierten Sicherheit aus praktischer und theoretischer Sicht zu vermitteln. Konkret wird fundamentales Wissen zu aktuellen Angriffstechniken, z.B. Code-Injection und Code-Reuse Angriffe, vermittelt. Die jeweiligen Angriffstechniken werden danach sukzessive in ihre Bestandteile zerlegt und aus der Perspektive der sprachbasierten Transformationen beleuchtet. Themen der Vorlesung sind:

- Laufzeitstruktur von Programmen auf Maschinenebene
- Angriffe durch Injektion malignen Codes (“code injection attacks”) und deren Abwehr
  - Buffer Overflows und Stack Canaries
  - Control-Flow Hijacking und Control-Flow Integrity
- Angriffe durch Wiederverwendung bereits existierenden Codes (“code re-use attacks”) und deren Abwehr
  - Return-Oriented Programming und Software Diversity
- Angriffe durch Daten
  - Non-Control Data Attacks und Data-Flow Integrity bzw. Data Randomization
- Aktuelle Resultate
  - Theoretische Sicherheit von Control-Flow Integrity
  - Trends in Software Diversity

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung mit 120 Minuten Dauer oder mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer oder Notenschein. Die Prüfungsform wird zu Beginn des Moduls festgelegt.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester.

Modulname	Modulnummer
<b>Security- und IT- Management</b>	5508

Konto	WPFL Module ME-ITSK 2021
-------	--------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. Ulrike Lechner	Pflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	96	144	8

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10106	VÜ	Sicherheitsmanagement	Pflicht	3
10471	VÜ	IT-Governance	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>8</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundlegende Kenntnisse über die Anwendungsbereiche und Methoden der IT-Sicherheit, wie sie z.B. im Modul Grundlagen der Informationssicherheit vermittelt werden.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden lernen zentrale Fragestellungen und wichtige Instrumente der Organisation, Steuerung und Kontrolle der IT und der IT-Prozesse von Organisationen kennen, in die auch sämtliche operativen Aspekte der Informationssicherheit zu integrieren sind. Sie lernen Fragestellungen und Methoden der Praxis im IT-Management kennen. Sie werden befähigt, Methoden des IT-Managements zu gestalten und zu evaluieren.

Die Vorlesung Sicherheitsmanagement vermittelt die Kompetenz, den Themenkomplex Informationssicherheit in seiner Breite strukturiert und nach technischen und organisatorischen Aspekten differenziert anzugehen und je nach Einsatzszenario systematisch Schwerpunkte im operativen Sicherheitsmanagement zu setzen. Studierende werden in die Lage versetzt, in realistischen Anwendungsbeispielen den Erfüllungsgrad von Anforderungen durch internationale Normen und branchenspezifische Vorgaben zu beurteilen und Maßnahmen zu planen, um identifizierte Defizite zu beseitigen.

#### Inhalt

Wie kann die IT-Landschaft einer Organisation gestaltet werden? Viele Skandale oder Misserfolge lassen sich auch darauf zurückführen, dass die IT die Unternehmensstrategie nicht richtig umsetzt. Beispielsweise haben fehlende Limits für den Börsenhandel bzw. fehlende Instrumente zur Überwachung der Börsengeschäfte und Durchsetzung dieser Limits Banken und ganze Volkswirtschaften in Bedrängnis bringen können. IT-Sicherheit und Privacy sind weitere zentrale Fragestellungen im IT-Betrieb. Hier müssen

Regeln genauso wie ihre Umsetzung in der Organisation und ihrer IT geklärt sein. Auch moderne Formen des Betriebs der IT, wie IT-Outsourcing oder Cloud Computing können nur dann erfolgreich sein, wenn die Regeln für den Betrieb der IT klar formuliert, in Verträgen geregelt sind und professionell umgesetzt werden können. Gesetzliche Regelungen stellen sich als schwierig dar und häufig genug „überholt“ die Technologie die Regelungen. Man denke hier an die Diskussionen um die Panorama Dienste von Google und Microsoft genauso wie über die sozialen Netzwerke. Heute geben z.B. für die Finanzwirtschaft Basel II und Sarbanes-Oxley Regeln für den Betrieb der IT vor.

IT-Governance ist ein vergleichsweise neues Gebiet der Informatik und Wirtschaftsinformatik, das der zentralen Rolle der IT für Organisationen Rechnung trägt. In diesem Themenfeld gibt es einige zentrale Aufgaben. Die IT mit ihren Prozessen ist so zu gestalten, dass Sie den gesetzlichen Vorgaben entspricht und die Geschäftsstrategie umsetzt. Weitere Aufgaben sind Schaffung von Werten durch IT und die Minimierung von IT-Risiken. IT-Governance soll den Rahmen schaffen, IT-Services effektiv, effizient und sicher zu erbringen. IT-Management soll den Betrieb der IT effektiv und effizient sicherstellen. Dazu müssen Strategien mittels IT umgesetzt werden.

Die Vorlesung Sicherheitsmanagement führt in die organisatorischen und technischen Aspekte des Umgangs mit dem Thema Informationssicherheit in komplexen Umgebungen ein, beispielsweise in Konzernen mit mehreren Standorten und bei organisationsübergreifenden Kooperationen wie Zulieferpyramiden oder internationalen Forschungsprojekten. Auf Basis der internationalen Normenreihe ISO/IEC 27000, die u.a. im Rahmen des IT-Sicherheitsgesetzes auch national stark an Bedeutung gewinnt, und weiterer Frameworks wie COBIT werden die Bestandteile so genannter Informationssicherheits-Managementsysteme (ISMS) analysiert und Varianten ihrer Umsetzung mit den damit verbundenen Stärken und Risiken diskutiert. Neben der Integration vorhandener technischer Sicherheitsmaßnahmen in ein ISMS werden auch die Schnittstellen zu branchenspezifischen Vorgaben, beispielsweise dem Data Security Standard der Payment Card Industry, zum professionellen IT Service Management bei IT-Dienstleistern und zu gesetzlichen Auflagen betrachtet.

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung mit 60 Minuten Dauer oder mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer oder Notenschein. Die Prüfungsform wird zu Beginn des Moduls festgelegt.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 2 Trimester.

Modulname	Modulnummer
<b>Praktikum: Elektrische Maschinen</b>	1227

Konto	PFL Module Mechatronik-ME 2021
-------	--------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Dieter Gerling	-	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12271	P	Praktikum Elektrische Maschinen	Wahlpflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse in „Elektrische Maschinen und Antriebe“, wie sie z.B. in einem der Module „Elektrische Maschinen und Antriebe (EIT)“, „Energietechnik B“ (EIT) oder „Elektrische Maschinen und Antriebe (ME)“ aus den jeweiligen B.Sc.-Studiengängen vermittelt werden.
Qualifikationsziele
Die Studierenden vertiefen die theoretischen Grundlagen aus den Vorlesungen und werden in die Lage versetzt, diese praktisch anzuwenden. Sie erlangen Kenntnisse über die Durchführung von Experimenten an elektrischen Maschinen und bekommen einen Einblick in die Ingenieurpraxis.
Inhalt
In diesem Modul werden die Studierenden mit den wichtigsten praktischen Versuchen und Messungen an elektrischen Maschinen vertraut gemacht: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sie führen messtechnische Untersuchungen an den Grundtypen von elektrischen Maschinen durch</li> <li>• Die Studierenden lernen, wie man Parameter von elektrischen Maschinen bestimmt</li> <li>• Sie nehmen verschiedene Feldmessungen vor, wie z.B. Leerlauf-, Kurzschluss-, und Belastungsmessungen</li> <li>• Typische Betriebskennlinien werden aufgenommen</li> <li>• Die Studierenden analysieren unsymmetrische Schaltungen</li> <li>• Zum Abschluss werden Sondermaschinen demonstriert</li> </ul>
Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• D. Gerling: Vorlesungsskript „Elektrische Maschinen und Antriebe“, UniBw München, EAA, 2010</li> </ul>

- G. Müller, B. Ponick: „Grundlagen elektrischer Maschinen“, 9.Auflage, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2006

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung von 45-120 min Dauer (sP-45-120) oder mündliche Prüfung von 15-40 min Dauer (mP-15-40), kombinierbar mit Notenschein (NoS) oder Teilnahmechein (TS) oder Notenschein (NoS). Die genaue Art der Prüfung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.

**Verwendbarkeit**

- Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung EMP
- Wahlpflichtmodul EIT M.Sc.

**Dauer und Häufigkeit**

1 Trimester, in jedem FT

Modulname	Modulnummer
<b>Systeme der Leistungselektronik</b>	1237

Konto	PFL Module Mechatronik-ME 2021
-------	--------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Brückner	-	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	72	108	6

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12371	VÜ	Systeme der Leistungselektronik I	Pflicht	4
12372	VÜ	Systeme der Leistungselektronik II	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenntnisse des Moduls "Grundlagen der Elektrotechnik",</li> <li>• Kenntnisse entsprechend der Module "Mathematik I - IV",</li> <li>• Kenntnisse des Moduls "Leistungselektronik".</li> </ul>
Qualifikationsziele
<p>Kenntnisse über Anwendungsbereiche und typ. Eigenschaften leistungselektronischer Systeme,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbständiges Erfassen der typischen Grundstrukturen,</li> <li>• Selbständiges Erkennen technischer Probleme in Planung und Realisierung,</li> <li>• Fähigkeiten zur Analyse und grundlegenden Dimensionierung leistungselektronischer Systeme.</li> </ul>
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendungsgebiete und Entwicklungstrends: Grundstrukturen leistungselektronischer Systeme, Anforderungen und Designaspekte,</li> <li>• Leistungsteile: Anforderungen, Elektrische Schnittstellen, Komponenten und Modularisierung, Sicherheit und Störfallbehandlung,</li> <li>• Leistungshalbleiter: Aufbau- und Verbindungstechnik, thermische und elektrische Auslegung, Zuverlässigkeit, Verhalten in Fehlerfällen und Ansteuerung,</li> <li>• Steuer- und Regelverfahren für selbstgeführte Stromrichter: Pulsweitenmodulation, Raumzeigermodulation, direkte Regelverfahren,</li> <li>• Multilevel-Stromrichter und deren Anwendungen: Synthese von Multilevel-Strukturen, Neutral-Point-Clamped (NPC)- und Flying Capacitor (FC)-Schaltungen, Modulare Multilevel (MMC)-Stromrichter,</li> <li>• Leistungselektronische Systeme für Stromversorgungen,</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungselektronische Systeme für Antriebszwecke,</li> <li>• Leistungselektronische Systeme für die Energieübertragung und -verteilung.</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bernet: Selbstgeführte Stromrichter am GS-Zwischenkreis, Springer 2012</li> <li>• Lutz: Halbleiter-Leistungsbaulemente, Springer 2012</li> <li>• Mohan: "Power Electronics", Wiley 2003</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung von 90min Dauer (sP-90) oder mündliche Prüfung von 30min Dauer (mP-30) am Ende des Moduls. Die genaue Art der Prüfung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben.</p> <p>ab EIT M.Sc. 2020:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Systeme der Leistungselektronik I: Schriftliche Prüfung 60 Min. oder mündliche Prüfung 20 Min. (Die Art der Prüfung wird rechtzeitig bekanntgegeben). (70%)</li> <li>• Systeme der Leistungselektronik II: Notenschein (30%)</li> </ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung EMP</li> <li>• Wahlpflichtmodul EIT M.Sc.</li> <li>• Pflichtmodul in der Vertiefungsrichtung ME-Mechatronik des Studiengangs Mathematical Engineering (M.Sc.)</li> </ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
2 Semester, in jedem FT/HT

Modulname	Modulnummer
Messtechnik und Sensorik	1240

Konto	PFL Module Mechatronik-ME 2021
-------	--------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. techn. Christian Kargel	-	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12401	VÜ	Messtechnik und Sensorik	Pflicht	6
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse der Elektrotechnik, Physik, Mathematik. Grundkenntnisse der Messtechnik
Qualifikationsziele
Die Studierenden haben ein vertieftes Verständnis für die Anforderungen, den Aufbau und die Funktionsweise von Sensoren für nichtelektrische Größen für verschiedene Anwendungsbereiche (Prozess- und Automatisierungstechnik, Automobil- und Luftfahrttechnik, Medizintechnik, intelligente und energieeffiziente Gebäudetechnik, etc.). Die Studierenden verstehen die Details des systemischen Zusammenwirkens von Sensorik und Elektrischer Messtechnik und können Messverfahren und Messsysteme eigenständig analysieren. Die Studierenden sind in der Lage, applikationsabhängige Messprobleme durch Auswahl geeigneter Sensoren zu lösen und anforderungsgerechte Messsysteme auszuwählen bzw. entsprechend zu dimensionieren. Die Studierenden können die zu erwartenden Messunsicherheiten ermitteln und die Grenzen des sinnvollen praktischen Einsatzes von bestimmten Sensoren und Messverfahren abschätzen.
Inhalt
Die Lehrveranstaltung beschäftigt sich mit den physikalischen Effekten und dem Aufbau von in der messtechnischen Praxis unerlässlichen Sensoren und gibt zudem einen kurzen Einblick in die sich rasant entwickelnde Welt der „Mikro- und Nanosensorik“. Beispielsweise müssen in der Prozess- und Automatisierungstechnik, Automobil- und Luftfahrttechnik, Medizintechnik, der intelligenten Gebäudetechnik, etc. zahlreiche nichtelektrische Größen wie Temperatur, Wärmemenge, Weg, Winkel, Beschleunigung, Kraft, Druck, Durchfluss, Drehzahl, Geschwindigkeit, Gaszusammensetzung und -konzentration, pH-Wert, etc. erfasst werden. Die in der Lehrveranstaltung ebenfalls behandelte akustische und optische Messtechnik hat zudem einen unmittelbaren Zusammenhang mit dem menschlichen Hören und Sehen. Sensoren liefern elektrische Signale, aus denen dann Messwerte und Messergebnisse

<p>mithilfe von geeigneten Messverfahren bestimmt werden können. Bei der Auswahl des Sensors und der Festlegung der Konzeption des gesamten Mess-Systems für eine bestimmte Anwendung spielen die erzielbare Sensitivität und Selektivität sowie die statischen und dynamischen Eigenschaften eine entscheidende Rolle. In der Lehrveranstaltung werden diese Aspekte in Theorie und Praxis behandelt. Darüber hinaus werden auch Maßnahmen und Ansätze besprochen, die nachteilige Einflüsse wie beispielsweise Temperatur(quer)empfindlichkeiten, Rauschen, Fertigungsstreuungen und Alterungseffekte reduzieren sowie eine geringe Messunsicherheit garantieren helfen.</p>
<p><b>Literatur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• E. Schrüfer, L. Reindl, B. Zagar: Elektrische Messtechnik. Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen, 12. Auflage, Carl Hanser Verlag, 2018.</li> <li>• U. Kiencke, R. Eger: Messtechnik, Systemtheorie für Elektrotechniker, 7. Aufl., Springer, 2008.</li> <li>• M. Möser: Messtechnik der Akustik, Springer, 2010.</li> <li>• J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren, 6. Auflage, Vulkan-Verlag GmbH, 2011.</li> </ul>
<p><b>Leistungsnachweis</b></p> <p>Schriftliche Prüfung von 90 Minuten Dauer (sP-90) oder mündliche Prüfung von 30 Minuten Dauer (mp-30). Die genaue Art der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben. Wiederholungsmöglichkeit am Ende des Wintertrimesters.</p>
<p><b>Verwendbarkeit</b></p> <p>Pflichtmodul im Studiengang EIT und ME. Wahlpflichtmodul für alle anderen Studiengänge.</p>
<p><b>Dauer und Häufigkeit</b></p> <p>1 Trimester, immer im WT</p>

Modulname	Modulnummer
<b>Automatisierungstechnik</b>	1241

Konto	PFL Module Mechatronik-ME 2021
-------	--------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. habil. Claus Hillermeier	-	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12411	VÜ	Automatisierungstechnik	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Voraussetzungen laut Prüfungsordnung

keine

#### Empfohlene Voraussetzungen

- Mathematische und physikalische Kenntnisse, wie sie in den Bachelor-Studiengängen EIT oder ME vermittelt werden.
- Modul 3406: Grundlagen der Elektrotechnik
- Modul 3419: Regelungstechnik

#### Qualifikationsziele

Themenbereich „Digitale Regelkreise“:

Die Studierenden verstehen, wie Regelungen mit Hilfe moderner Geräte- und Informationstechnologie in Form von digitalen Regelkreisen realisiert werden. Die Studierenden können das dynamische Verhalten zeitdiskreter Systeme auf verschiedene Arten modellieren: Als Eingangs-Ausgangsmodell und als Zustandsraummodell im Zeitbereich sowie als Eingangs-Ausgangsmodell im Frequenzbereich. Die Studierenden verstehen die dynamischen Eigenschaften zeitdiskreter Systeme in Analogie zu zeitkontinuierlichen Systemen. Die Studierenden können ein Regelgesetz, das anhand eines zeitkontinuierlichen Streckenmodells entworfen worden ist, auf einem Microcontroller umsetzen und den Einfluss der Abtastung auf die Regelgüte abschätzen. Die Studierenden sind in der Lage, mit an die Anwendung angepassten Methoden einen digitalen Regelkreis zu entwerfen und sein Verhalten zu analysieren.

Themenbereich „Modellierung, Analyse und Steuerung ereignisgetriebener Systeme“:

Die Studierenden sind in der Lage, technische Abläufe als ereignisdiskrete Systeme zu interpretieren und geeignet zu modellieren. Die Studierenden verstehen, inwiefern Prozessautomatisierung auf höheren Ebenen die Aufgabe der Steuerung ereignisdiskreter Systeme beinhaltet. Die Studierenden können das dynamische Verhalten ereignisdiskreter Systeme mittels geeigneter Analysemethoden untersuchen;

insbesondere sind sie in der Lage, die Lebendigkeit (d.h. Deadlock-Freiheit) und Sicherheit solcher Systeme nachzuweisen. Die Studierenden beherrschen verschiedene Methoden, um Steuerungen bzw. Regelungen für ereignisdiskrete Systeme, d.h. für Vorgänge, die es zu automatisieren gilt, zu entwerfen.

Themenbereich „Modellbasierte prädiktive Regelung“:

Die Studierenden verstehen das Prinzip der modellbasierten prädiktiven Regelung und können diese Methodik auf lineare, zeitdiskret modellierte Regelstrecken anwenden.

#### Inhalt

In diesem Modul werden die Studierenden mit den Grundlagen der drei Themenbereiche „Digitale Regelkreise“, „Modellierung, Analyse und Steuerung ereignisgetriebener Systeme“ und „Modellbasierte prädiktive Regelung“ bekannt gemacht.

Themenbereich „Digitale Regelkreise“:

Die Studierenden erhalten eine Einführung in die gerätetechnische Implementierung von Regelungen in Form von digitalen Regelkreisen. Sie lernen abgetastete Regelstrecken und ihre Modellierung als zeitdiskrete Systeme kennen, sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich. Sie werden mit Eigenschaften zeitdiskreter Systeme wie Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit bekannt gemacht. Den Studierenden wird demonstriert, wie ein Regler, der anhand eines zeitkontinuierlichen Modells der Regelstrecke entworfen worden ist, in ein Programm umgesetzt werden kann, das auf einem Mikrocontroller abläuft. Sie erlernen ein Methodenspektrum, um digitale Regelungen auf Basis eines zeitdiskreten Streckenmodells zu entwerfen.

Themenbereich „Modellierung, Analyse und Steuerung ereignisgetriebener Systeme“:

Die Studierenden werden mit der Modellierung von technischen Prozessen (in Rechenanlagen, Fertigungsanlagen etc.) und Transportvorgängen in Form von ereignisdiskreten Systemen bekannt gemacht. Ihnen wird demonstriert, wie die Automatisierung von Fertigungsprozessen, Gebäuden, Fahrzeugen etc. so umformuliert werden kann, dass daraus die Aufgabe entsteht, durch Steuerungsmechanismen geeignete Ereignisfolgen herbeizuführen. Die Studierenden erlernen die Fähigkeit, Prozesse, die automatisiert werden sollen, mit Hilfe von deterministischen Automaten und Petrinetzen zu modellieren. Sie lernen Werkzeuge für die Analyse des Verhaltens ereignisdiskreter Systeme kennen, vor allem im Hinblick auf Lebendigkeit (d.h. die Vermeidung von deadlocks) und Sicherheit. Sie erhalten eine Einführung in den Entwurf von Steuerungen ereignisdiskreter Systeme auf Basis von Automaten- und Petrinetz-Modellen.

Themenbereich „Modellbasierte prädiktive Regelung“:

Die Studierenden lernen das Prinzip der modellbasierten prädiktiven Regelung sowie die Anwendung dieser Methodik auf lineare Regelstrecken kennen.

#### Literatur

- J. Lunze: Automatisierungstechnik, Oldenbourg Verlag, 2008
- J. Lunze: Regelungstechnik 2, Springer Verlag, 2008

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• M. Horn, N. Dourdoumas: Regelungstechnik, Pearson Studium Verlag, 2004</li><li>• A. Kugi: Skript zur Vorlesung "Automatisierung", <a href="http://www.acin.tuwien.ac.at/file/teaching/bachelor/automatisierung/Gesamtskriptum.pdf">www.acin.tuwien.ac.at/file/teaching/bachelor/automatisierung/Gesamtskriptum.pdf</a></li></ul> |
| <b>Leistungsnachweis</b>   |
| Schriftliche Prüfung 90 Min. oder mündliche Prüfung 30 Min. (die Art der Prüfung wird rechtzeitig bekanntgegeben.)   |
| <b>Verwendbarkeit</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Pflichtmodul für EIT M.Sc., Vertiefung „Electric Mobility and Power“</li><li>• Pflichtmodul für ME M.Sc., Vertiefung „Mechatronik“</li><li>• Wahlpflichtmodul EIT M.Sc.</li></ul>  |
| <b>Dauer und Häufigkeit</b>  |
| 1 Trimester, in jedem WT   |

Modulname	Modulnummer
Antriebsregelung und Aktorik, EMV in der Energietechnik	1242

Konto	PFL Module Mechatronik-ME 2021
-------	--------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Dieter Gerling	-	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
240	96	144	8

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12421	VÜ	Antriebsregelung und Aktorik I	Pflicht	2
12422	VÜ	Antriebsregelung und Aktorik II	Pflicht	4
12423	VÜ	EMV in der Energietechnik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>8</b>

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse in „Elektrische Maschinen und Antriebe“, wie sie z.B. im Modul „Elektrische Maschinen und Antriebe für Electric Mobility“ vermittelt werden.
Qualifikationsziele
Die Studierenden erlernen die Grundbegriffe von elektromechanisch gekoppelten Systemen. Sie können elektrischen Maschinen in unterschiedlichen Koordinatensystemen mathematisch beschreiben. Die Studierenden verfügen außerdem über Kenntnisse des dynamischen Betriebsverhaltens elektrischer Maschinen (Schnellhochlauf, Laststoß, Stoßkurzschluss) und lernen unterschiedliche Regelungskonzepte für elektrische Antriebe (Kaskadenregelung, feldorientierte Regelung) kennen. Ergänzende Kenntnisse zu leistungselektronischen Stellgliedern und Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) bei elektrischen und elektronischen Systemen runden die Vorlesung ab.
Inhalt
Lehrveranstaltung „Antriebsregelung und Aktorik I“
Zu Beginn dieser Veranstaltung wiederholen die Studierenden physikalische Grundlagen, die für das Verständnis von Antriebsregelungen notwendig sind:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamisches Grundgesetz und Bewegungsgleichungen</li> <li>• Stabilität</li> <li>• Massenträgheitsmomente</li> <li>• Einfache Getriebe</li> </ul>

- Leistung und Energie bei Drehbewegungen
- Langsame Drehzahländerungen
- Wärmemengen beim Anfahren und Bremsen

Für ein besseres Verständnis der zu vermittelnden Inhalte wird zunächst das dynamische Verhalten von Gleichstrommaschinen näher analysiert:

- Gleichungssystem für den dynamischen Betrieb (Zeitkonstanten, Strukturbild) fremderregte Gleichstrommaschine (allgemeine Struktur, Führungsverhalten, Störverhalten, aperiodischer Grenzfall)
- Gleichstromnebenschlussmaschine (dynamischer Hochlauf)
- Kaskadenregelung einer Gleichstrommaschine (PI-Regler, Blockschaltbild und Übertragungsfunktion)
- Drehzahlregelkreis und Stromregelkreis
- Dynamischer Hochlauf und Reversieren

Anschließend werden die Studierenden mit dem Begriff der Raumzeigertheorie für Drehfeldmaschinen bekannt gemacht:

- Voraussetzungen
- Umwandlung einer dreisträngigen in eine zweisträngige Maschine
- Umwandlung eines zweisträngigen Systems auf ein beliebig rotierendes Koordinatensystem
- Transformationsmatrizen
- Flussverkettungen, Spannungsgleichungen und Drehmoment im beliebig rotierenden System

Die Methoden der Raumzeigertheorie werden nun auf das dynamische Verhalten der Asynchronmaschine angewendet:

- Gleichungssystem
- Schneller Hochlauf und Laststoß
- Vergleich von dynamischer und stationärer Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie
- Feldorientiertes Koordinatensystem für die Asynchronmaschine
- Strukturbild der Asynchronmaschine in feldorientierten Koordinaten
- Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine mit eingprägten Statorströmen
- Flussmodell
- Strukturbild der Regelung
- Dynamischer Hochlauf der Asynchronmaschine
- Vergleich mit dem dynamischen Hochlauf am starren Netz
- Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine mit eingprägten Statorspannungen
- Entkopplungsnetzwerk
- Feldorientierte Regelung der Asynchronmaschine ohne mechanischen Sensor

Lehrveranstaltung „Antriebsregelung und Aktorik II“:



Im direkten Anschluss an den ersten Teil der Vorlesung transferieren die Studierenden ihr erworbenes Wissen über Raumzeiger und Maschinendynamik von Asynchronmaschinen auf das dynamische Verhalten der Synchronmaschine:

- Beschreibung des stationären Betriebs der Vollpol-Synchronmaschine mittels der Raumzeigertheorie
- Stoßkurzschluss der Vollpolmaschine
- Gleichungssystem
- Grenzwertbetrachtungen für Ströme und Drehmoment
- Zeitkonstanten
- Zeitfunktionen bei Schalten im Spannungsmaximum und im Spannungsnulldurchgang
- Physikalische Erklärung des Stoßkurzschlusses
- Beschreibung des stationären Betriebs der Schenkelpol-Synchronmaschine mittels der Raumzeigertheorie
- Bestimmung von Längs- und Quersfeldreaktanzen
- Stoßkurzschluss der Schenkelpolmaschine (analytische und numerische Lösung)
- Transienter Betrieb der Schenkelpolmaschine

Anschließend wird ein technisch besonders relevanter Spezialfall der Synchronmaschine – der permanent erregte Synchronmotor mit Polradlagegeber – näher herausgehoben und untersucht:

- Wirkungsweise
- Dynamisches Gleichungssystem
- Stationäres Betriebsverhalten
- Betriebsarten

Ein kurzer Ausblick zu leistungselektronischen Stellgliedern für Gleichstrommaschinen, Asynchronmaschinen und Synchronmaschinen rundet die zuvor behandelten Themen ab.

Lehrveranstaltung „EMV in der Energietechnik“:

Im dritten Teil der Vorlesung werden die Studierenden mit Fragestellungen zur „elektromagnetischen Verträglichkeit“ (EMV) mit speziellem Fokus auf die Energietechnik vertraut gemacht:

- Niederfrequente, leitungsgeführte Störungen
- Entstehung von Störsignalen, Oberschwingungen und Zwischenharmonischen
- Messung und Bewertung von Netzurückwirkungen
- Entwurfskriterien von Netzfiltern
- Untersuchung spezieller Schaltungen

#### Literatur

Literatur zu Lehrveranstaltung „Antriebsregelung und Aktorik I“:

- D. Gerling: Vorlesungsskript „Antriebsregelung und Aktorik“, UniBw München, EAA, 2010
- G. Pfaff: „Regelung elektrischer Antriebe I und II“, Oldenbourg Verlag, München, 1994

<p>Literatur zu Lehrveranstaltung „Antriebsregelung und Aktorik II“:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D. Gerling: Vorlesungsskript „Antriebsregelung und Aktorik“, UniBw München, EAA, 2010</li> <li>• D. Schröder: „Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen“, 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2009</li> </ul> <p>Literatur zu Lehrveranstaltung „EMV in der Energietechnik“:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• W. Zeng: Vorlesungsskript „EMV in der Energietechnik“, UniBw München, EAA, 2011</li> <li>• A.J. Schwab, W. Kürner: „Elektromagnetische Verträglichkeit“, 6.Auflage, Springer-Verlag, Berlin, 2011</li> </ul>
<p><b>Leistungsnachweis</b></p> <p>Gesamtmodul: sP-130 oder mP-40</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anteil ARA (I+II): sP-90 oder mP-25</li> <li>• Anteil EMV: sP-40 oder mP-15</li> </ul> <p>Die genaue Art der Prüfung wird zu Beginn des Moduls bekannt gegeben. Für die Modulnote werden die Leistungen der Lehrveranstaltungen ARA (I+II) und EMV im Verhältnis 3:1 gewertet.</p>
<p><b>Verwendbarkeit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflichtmodul EIT M.Sc., Vertiefung EMP</li> <li>• Wahlpflichtmodul EIT M.Sc.</li> </ul>
<p><b>Dauer und Häufigkeit</b></p> <p>3 Semester, in jedem Studienjahr</p>

Modulname	Modulnummer
Modelle im Verkehr	1328

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Silja Hoffmann	Pflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13281	VL	Transportinformatik	Pflicht	1
13282	UE	Transportinformatik	Pflicht	2
13283	VL	Entscheidungs- und Optimierungsmethoden	Pflicht	1
13284	VL	Verkehrstheorie und Anwendungen	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Grundkenntnisse in den Bereichen Verkehrstechnik und Verkehrsplanung.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden erlangen die Fähigkeit spezielle Methoden und Modelle in der Verkehrsplanung, Verkehrstechnik und in der Planung von Verkehrsleitsystemen anzuwenden.

## Inhalt

**Transportinformatik (1 V und 2 Ü):**

- Einführung in die verkehrstechnische/-planerische Programmierung mittels Matlab/Simulink, Excel und „R“ und Anwendung von Standardsoftware
- Einführung in Matlab/Simulink
- Methoden der Datenverarbeitung und Optimierung, Softcomputing Methoden
- Programmierung eines makroskopischen Verkehrsflussmodells nach Payne und eines Kürzest-Weg-Algorithmus nach Dykstra
- Verkehrsdatenanalyse und grafische Darstellungsformen

**Entscheidungs- und Optimierungsmethoden im Verkehr (1 V):**

- nichtlineare Optimierung
- Zeitreihenanalyse
- Entscheidungstheorie
- Lineare Optimierung

- Tourenplanung
- Heuristiken
- Graphentheorie
- Netzoptimierung
- Spieltheorie

**Verkehrstheorie und Anwendungen (2 V) (Lehrbeauftragter):**

- Überblick über Verkehrsflusstheorie
- räumlich-zeitliche Verkehrsmuster auf Autobahnen
- Einführung in die Drei-Phasen Verkehrsflusstheorie
- Einführung in die ASDA/FOTO-Verkehrslageschätzung und -prognose
- Anwendung von ASDA/FOTO für kollektive Verkehrsbeeinflussung am Beispiel A5
- Anwendungen der Drei-Phasen Theorie in der Fahrerassistenz, Verkehrsinformation und Navigation
- ANCONA-Zuflussdosierung
- die Rolle des Radverkehrs in der Verkehrsplanung
- Bikesharing
- Ladetechnologien und Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten.

**Verwendbarkeit**

- In der Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME) ist das Modul 1328 Modelle im Verkehr oder das Modul 3840 Computersimulation von Strömungen als Pflichtmodul zu belegen.
- Für Projekte aus dem Verkehrswesen, die sich mit speziellen Themen aus den o.g. Gebieten beschäftigen.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester.  
Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Herbsttrimester.

Modulname	Modulnummer
<b>Kontinuumsmechanik und Werkstoffmodelle</b>	1334

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Brünig	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13341	VL	Kontinuumsmechanik und Werkstoffmodell	Pflicht	4
13342	VL	Tensorrechnung	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Bachelor-Studium
Qualifikationsziele
Die Studierenden beherrschen die Grundlagen der Tensorrechnung in symbolischer Darstellung. Sie besitzen ein fundiertes Wissen über unterschiedliche Spannungs- und Verzerrungstensoren und erhalten Einblicke in die Struktur und Bedeutung der Erhaltungsgleichungen und der Hauptsätze der Thermodynamik. Fundierte Kenntnisse über inelastische Stoffgesetze, Schädigungsentwicklungen und Versagensmechanismen von Werkstoffen erlauben eine realistische Prognose des Deformations- und Versagensverhaltens von Bauteilen und Strukturen.
Inhalt
<p><b>Kontinuumsmechanik und Werkstoffmodelle (Prof. Brünig):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kinematik des Kontinuums</li> <li>• Kräfte und Spannungen</li> <li>• Bilanz- und Erhaltungssätze</li> <li>• Materialgleichungen</li> <li>• Formulierung mit gestreckten Basisvektoren</li> </ul> <p><b>Tensorrechnung (Prof. Apel):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vektoren, ko- und kontravariante Basis</li> <li>• Tensoren zweiter und höherer Stufe</li> <li>• Rechenoperationen mit Tensoren</li> <li>• krummlinige Koordinaten</li> <li>• Differentiale und der Gradient einer skalaren Funktion</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Nabla-Kalkül für Tensorfelder</li><li>• Christoffel-Symbole</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Mündliche Prüfung 30 Minuten oder schriftliche Prüfung 90 Minuten.
<b>Verwendbarkeit</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pflichtmodul für die Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME)</li><li>• Modul Finite Methoden und Stoffgesetze Hochdynamik</li><li>• Konstruktive Fächer</li></ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Wintertrimester. Als Startzeitpunkt ist das Wintertrimester des 1. Studienjahres vorgesehen.

Modulname	Modulnummer
Schalentragwerke	1343

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Kiendl	Wahlpflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13431	VL	Mechanik der Schalentragwerke	Pflicht	2
13432	UE	Mechanik der Schalentragwerke	Pflicht	2
13433	VL	Differentialgeometrie	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse aus der Differential- und Integralrechnung für Funktionen mehrerer Veränderlicher, Kenntnisse aus der Tensorrechnung, Kenntnisse aus der Baumechanik und Baustatik.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden erhalten einen vertieften Einblick in das besondere Tragverhalten gekrümmter Flächentragwerke und in die Formulierung von Schalengleichungen. In der Vorlesung Differentialgeometrie lernen die Studierenden die mathematischen Grundlagen zur Beschreibung der Geometrie der Schalen. Sie erwerben Kenntnisse von Lösungskonzepten für Schalenkonstruktionen im Membran- und Biegespannungszustand und können Berechnungen für zusammengesetzte, rotationssymmetrische Schalentragwerke selbständig durchführen. Sie erwerben Kenntnisse, um einfache lineare Finite-Element-Berechnungen durchzuführen und die Berechnungsergebnisse mit Hilfe von Näherungsverfahren zu beurteilen.

#### Inhalt

##### **Differentialgeometrie (Prof. Apel):**

- Tensorrechnung
- Kurven im dreidimensionalen Raum
- Flächen im dreidimensionalen Raum

##### **Mechanik der Schalentragwerke (Dr.-Ing. Michaloudis):**

- Schalentragwerke im Ingenieurbau
- Gleichgewichtsbedingungen für Schalen beliebiger Geometrie

- Konstitutive Gleichungen für die Schnittgrößen
- Geometrische und dynamische Randbedingungen
- Lösungskonzepte für die Schalengleichungen
- Spezialisierung auf Rotationsschalen
- Membrantheorie für Rotationsschalen
- Biegetheorie drehsymmetrisch belasteter Rotationsschalen
- Näherung von Geckeler
- Berechnung zusammengesetzter Schalentragwerke
- Stabilitätsgleichungen
- Beuluntersuchungen für Schalen einfacher Geometrie

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten.

**Verwendbarkeit**

- Pflichtmodul für die Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME)
- Konstruktive Fächer

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester.

Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Herbsttrimester.



Modulname	Modulnummer
<b>Bauen im Einsatz und Sicherheit der baulichen Infrastruktur</b>	1468

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Kiendl	Pflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	48	102	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14681	VL	Bauen im Einsatz	Pflicht	2
14682	VL	Sicherheit der baulichen kritischen Infrastruktur für Bund und Bundeswehr	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Fundierte Kenntnisse in Mathematik, Mechanik und Baustatik.

Qualifikationsziele
---------------------

Das Modul ermöglicht den Studierenden einen ersten Eindruck zum Thema „Bauen im Einsatz“ bzw. „Baulicher Schutz gegen außergewöhnliche (hochdynamische) Einwirkungen“. Aus der Vielzahl der am Bauprozess beteiligten Behörden lernen sie die maßgeblichen Institutionen der Bundeswehr und weiterer Beteiligter kennen. Zusätzlich lernen die Studierenden erste Aspekte ihrer Tätigkeiten nach dem Studium als Bauingenieur in der Bundeswehr kennen.

Die Studierenden lernen theoretische und praktische Aspekte des Schutzes baulicher Infrastruktur vor immer häufiger auftretenden außergewöhnlichen Einwirkungen, wie Explosionen und Impakt kennen. Sie erhalten Kenntnisse über das Verhalten von verschiedenen Baumaterialien, Bauteilen und Bauwerken unter hochdynamischer Beanspruchung. Dabei werden sie auch für innovative Schutzlösungen sensibilisiert und lernen Grundlagen der experimentellen Charakterisierung von Baustrukturen kennen.

Insgesamt erreichen die Studierenden durch die Teilnahme am Modul ein Alleinstellungsmerkmal im beruflichen Umfeld durch Informationen zum Bauen in den Einsatzgebieten der Bundeswehr und erhalten umfangreiche Kenntnisse zu den Anforderungen an die Sicherheit baulicher Infrastrukturen und deren Schutz gegen außergewöhnliche Einwirkungen.

Inhalt
<b>Bauen im Einsatz (Dr. Rüdiger und externe Referenten):</b>

Vortragende aus mehreren am Bauen beteiligten Behörden vermitteln den Studierenden ihren jeweiligen Verantwortungsbereich. Dabei wird stets ein gesamtheitlicher, integrativer Ansatz verfolgt, um dem Infrastrukturbedarf der Bundeswehr in den Einsätzen gerecht zu werden. Vertreter aus verschiedenen Bereichen des Bundesministeriums der Verteidigung (BMVg) und des Bundesamtes für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr (BAIUDBw) beleuchten die strategische und operative Ebene. Hauptbedarfsträger für die Einsätze ist das Einsatzführungskommando der Bundeswehr (EinsFüKdoBw), welches alle einsatzrelevanten Vorgänge koordiniert und die operative Ebene abbildet. Weitere Behörden können für das Bauen der Bundeswehr hinzugezogen werden, z. B. die „Betriebsleitung Bundesbau Baden-Württemberg“, die der Oberfinanzdirektion Karlsruhe zugeordnet ist. Die Aspekte der taktischen Ebene (vor Ort) werden den Studierenden durch die Vortragenden mit Einsatzerfahrung vermittelt. Folgende Themen werden im Rahmen der Beiträge behandelt:

- Bedarfe, Standards und rechtlicher Rahmen,
- Konzeptionelle Grundlagen der Bundeswehr für das Bauen im Einsatz,
- Konzeptionelle Grundlagen zu baulichen Schutzvorkehrungen der Bundeswehr,
- Projektmanagement beim Durchführen von Baumaßnahmen,
- Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit der Bundeswehr,
- Planen, Bauen und Betreiben von Liegenschaften im Einsatz,
- Finanzrahmen, Haushaltsrecht, Schnittstelle zum Bundesministerium der Finanzen,
- Umgang mit Georisiken, wie Hochwasser und Starkregen,
- Bedeutung der Qualitätssicherung und
- Beispiele aus den Einsatzgebieten.

### **Sicherheit der baulichen kritischen Infrastruktur für Bund und Bundeswehr (Dr. Rüdiger):**

Der Schutz von Infrastruktur durch bauliche Maßnahmen bildet den Schwerpunkt der Lehrveranstaltung. Von theoretischen Grundlagen über die Wirkungen von verschiedenen Waffen und Explosionen und deren Interaktion mit Baustrukturen ausgehend werden Schutzideen vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf die Charakteristika des hochdynamischen Materialverhaltens und der sich daraus ableitenden Bemessung von Schutzbauteilen eingegangen. Anhand von praktischen Beispielen aus verschiedenen Einsätzen der Bundeswehr und weiterer Bauten des Bundes (z. B. Botschaften) werden Lösungsmöglichkeiten für Schutzbauteile und die bedrohungsgerechte Konfiguration der Raumordnung von Liegenschaften aufgezeigt. Folgende Themen werden unter anderem in dieser Lehrveranstaltung behandelt:

- Grundlagen des baulichen Schutzes,
- Wirkung von Sprengstoff,
- Wirkung verschiedener Waffen (Raketen, Mörser, Handwaffen, Sprengsätze usw.),
- Ermittlung der bemessungsrelevanten Parameter bei einer Explosion,
- Verhalten von Baumaterialien (Beton, Mauerwerk, Holz) bei hochdynamischer Beanspruchung,
- Beschussverhalten von Betonbauteilen,
- Entwicklung und Anwendung von Ingenieurwerkzeugen,
- Numerische Verfahren und Möglichkeiten der Simulationen,

- Gebäude- und Tragwerkskonzepte inklusive Maßnahmen zur nachträglichen Verstärkung,
- Ideen für einen innovativen Schutz von urbanen Räumen und
- Experimentelle Charakterisierung und Durchführung von Versuchen (Exkursion WTD52).

**Leistungsnachweis**

Mündliche Prüfung 30 Minuten oder schriftliche Prüfung 90 Minuten.

**Verwendbarkeit**

- Pflichtmodul für die Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME)
- Das Modul bereitet die Teilnehmenden auf eine Tätigkeit als Bauingenieur in der Bundeswehr inkl. Auslandseinsätzen, der öffentlichen Bauverwaltung und allgemein auf das Bauen im Ausland unter besonderen örtlichen Rahmenbedingungen vor.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert zwei Trimester und beginnt im Frühjahrstrimester (FT) des 1. Studienjahres.

Jedes Studienjahr findet die erste Lehrveranstaltung 14681 „Bauen im Einsatz“ als geblockte Veranstaltung im Frühjahrstrimester (FT) statt. Die zweite Lehrveranstaltung 14682 „Sicherheit der baulichen kritischen Infrastruktur für Bund und Bundeswehr“ findet im anschließenden Herbsttrimester (HT) statt und schließt das Modul ab.

Modulname	Modulnummer
Massivbau Vertiefung	1539

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Braml	Pflicht	4

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15391	VL	Spannbetonbau - Vertiefung	Pflicht	1
15392	UE	Spannbetonbau - Vertiefung	Pflicht	1
15393	VL	Massivbrücken - Vertiefung	Pflicht	1
15394	UE	Massivbrücken - Vertiefung	Pflicht	1
15395	VL	Hoch- und Industriebau	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Fundierte Grundkenntnisse in den Bereichen Statik, Werkstoffe und Bauchemie sowie Konstruktiver Ingenieurbau (Stahlbau/Massivbau) sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Teilnahme. Weitere Voraussetzung ist die Teilnahme am Modul Brücken- und Ingenieurbau.

## Qualifikationsziele

Im Modul Massivbau Vertiefung erwerben die Studierenden vertiefte Kenntnisse bei Planung und Berechnung von Massivbrücken sowie von Hoch- und Industriebauwerken, der Objekt- und Tragwerksplanung von Straßen-, Eisenbahn- sowie Geh- und Radwegbrücken. So sind sie in der Lage Massivbrücken und Hochbauwerke zu planen und zu berechnen.

## Inhalt

**Spannbetonbau – Vertiefung:**

In der Vorlesung werden vertiefte Erkenntnisse beim Entwurf und bei der Berechnung von Spannbetonbauwerken im Hochbau und im Brückenbau gelehrt. Insbesondere werden vertieft die Auswirkungen der Vorspannung auf statische unbestimmte Systeme vorgestellt. Der Entwurf von Spannbetontragwerken und die Besonderheiten im Bauablauf in Hinblick auf Kriech- und Schwindumlagerung bei der Fertigteilbauweise und der abschnittswisen Herstellung von Tragwerken, werden eingehend besprochen. Zudem werden Vorspannsysteme mit neuen Materialien und der Einsatz der Vorspannung insbesondere bei Flachdecken im Hochbau vorgestellt. Im Rahmen der Übung werden die theoretischen Ansätze an Praxisbeispielen vorgerechnet.

**Massivbrücken – Vertiefung:**

In diesem Modul werden die einzelnen Bauverfahren für die Herstellung von Massivbrücken, wie z. B. Taktschieben, Freivorbau, Vorschubrüstung, Fertigteilbauweise, detailliert vorgestellt. Zudem wird auf die Unterschiede bei der Lagerung von Brücken eingegangen und die Erfordernisse bei der Berechnung und Planung von integralen und semi – integralen Brücken werden vorgestellt. Die Spanngliedführung bei den unterschiedlichen Bauverfahren und der unterschiedlichen Lagerung von Brücken wird im Detail vorgestellt. Die Berechnung der Unterbauten, d. h. von Widerlagern und Pfeilern, wird ebenso behandelt.

In der zugehörigen Übung wird eine mehrfeldrige Spannbetonbrücke berechnet. Neben der Ermittlung der Einwirkungen und der Schnittkraftermittlung wird die Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit vorgeführt.

**Hoch- und Industriebau:**

In der Vorlesung Hoch- und Industriebau wird die Anwendung der Massivbauweise im Hoch- und Industriebau, sowohl bei Fertigteil- als auch bei Ort betonkonstruktionen behandelt. Die Themen Aussteifung, globale Stabilität sowie die Verbindung von Einzelbauteilen werden detailliert vorgestellt. Daneben werden Spezialthemen wie z.B. Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Konstruktionen), Betontragwerke für Hochhäuser, Heißbemessung von Massivbauteilen etc. behandelt. Weiterhin wird die Bemessung und Planung wichtiger Befestigungssysteme im Massivbau (Dübel, Ankersystem, Einbauteile, etc.) vorgestellt und deren Einbau im Labor praktisch vorgeführt.

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 120 Minuten.

**Verwendbarkeit**

- In der Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME) ist das Modul 1539 Massivbau Vertiefung oder das Modul 1540 Stahlbau Vertiefung als Pflichtmodul zu belegen.
- Das Modul ist die Voraussetzung für das Modul Projekt Konstruktiver Ingenieurbau. Es bildet die Grundlage für eine Masterarbeit im Konstruktiven Ingenieurbau. Das Modul vermittelt vertiefte Kenntnisse für die Planung und Berechnung von Gebäuden, Hochhäusern sowie Brücken- und Ingenieurbauwerken.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester und beginnt jedes Studienjahr jeweils im Wintertrimester. Als Startzeitpunkt ist das Wintertrimester des 1. Studienjahres vorgesehen.

Modulname	Modulnummer
<b>Stahlbau Vertiefung</b>	1540

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Braml	Pflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15401	VL	Ingenieurholzbau	Pflicht	1
15402	VL	Stahl- und Verbundkonstruktionen	Pflicht	1
15403	UE	Stahl- und Verbundkonstruktionen	Pflicht	1
15404	VL	Vertiefung Stahl- und Verbundbrücken	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Voraussetzung für die Teilnahme an der Veranstaltung sind fundierte Kenntnisse in der Mechanik, der Baustatik, dem Verhalten der Werkstoffe des Bauwesens sowie dem Stahlbau und dem Holzbau. Weitere Voraussetzung ist die Teilnahme am Modul Brücken- und Ingenieurbau.

#### Qualifikationsziele

Im Rahmen des Moduls erwerben die Studierenden vertiefte Kenntnisse in den Fächern Ingenieurholzbau sowie Stahl- und Verbundbau. Insbesondere entwickeln sie Fähigkeiten zur Analyse des Tragverhaltens der genannten Bauweisen und zur anwendungsorientierten Übersetzung der Berechnungsergebnisse in ausführbare Konstruktionen im Hochbau und im Brückenbau.

#### Inhalt

##### **Ingenieurholzbau:**

- Tragstrukturen aus Holzelementen
- Brettschichtholz, Herstellung, Werkstoffkenngrößen
- Dimensionierungsgrundsätze
- Gekrümmte Holzleimkonstruktionen
- Rahmentragwerke
- Detailgestaltung
- Holzschutz
- Tafelbauweise
- Hallentragwerke
- Holzbrücken, Pionierbrücken
- Gegenüberstellung Berechnungsansätze Holzbau - Stahlbau

**Stahl- und Verbundkonstruktionen:**

- Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit
- St. Venant Torsion
- Wölbkrafttorsion
- Stabilisierung elastisch gebetteter Stabsysteme
- Schubfeldtheorie
- Beulen
- Interaktion Knicken/Beulen
- Theorie der Verbundkonstruktionen
- Gestaltung der Verbundfuge
- Zeitabhängiges Materialverhalten
- Anlusstechnik im Stahl- und Verbundbau

**Vertiefung Stahl- und Verbundbrücken:**

In der Vorlesung "Vertiefung Stahl- und Verbundbrücken" werden die einzelnen Bauverfahren für die Herstellung von Stahl- und Verbundbrücken detailliert vorgestellt. Dies erfolgt sowohl für Stahlbrücken als auch für Verbundbrücken. Für Stabbogenbrücken und Netzbogenbrücken werden die Ausbildung der Hänger, die Querschnittsausbildung der Träger sowie wichtige Konstruktionsdetails behandelt. Neben den Detailnachweisen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit werden insbesondere die Themen der Ermüdungsfestigkeit an Beispielen vorgeführt. Im Bereich der Fußgängerbrücken werden die Schwingungsnachweise vorgestellt. Wichtige Konstruktionsdetails werden anhand von Praxisbeispielen besprochen und statisch bewertet bzw. in Bemessungsbeispielen vorgerechnet.

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 120 Minuten.

**Verwendbarkeit**

- In der Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME) ist das Modul 1539 Massivbau Vertiefung oder das Modul 1540 Stahlbau Vertiefung als Pflichtmodul zu belegen.
- Das Modul ist die Voraussetzung für das Modul Projekt Konstruktiver Ingenieurbau. Es bildet die Grundlage für eine Masterarbeit im Konstruktiven Ingenieurbau. Das Modul vermittelt vertiefte Kenntnisse für die Planung und Berechnung von Gebäuden, Hochhäusern sowie Brücken- und Ingenieurbauwerken.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester und beginnt jedes Studienjahr jeweils im Frühjahrstrimester. Als Startzeitpunkt ist das Frühjahrstrimester des 1. Studienjahres vorgesehen.

Modulname	Modulnummer
<b>Projektarbeit (ME MSB)</b>	1544

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Thomas Apel	Wahlpflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	9

Empfohlene Voraussetzungen
Alle Fachmodule des Master-Studiengangs Bauingenieurwesens und Umweltwissenschaften, die für die Bearbeitung der jeweiligen Problemstellung erforderlich sind.
Qualifikationsziele
Die Studierenden erhalten Einblick in aktuelle Forschungsarbeiten der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften. Sie sind vertraut mit den zur Bearbeitung solcher Fragestellungen erforderlichen wissenschaftlichen Methoden. Sie sind in der Lage, eine Problemstellung aus diesem Bereich unter Anleitung zu analysieren, klar darzustellen und einen Lösungsweg aufzuzeigen.
Inhalt
Selbstständige Bearbeitung einer umfangreicheren Problemstellung aus einem Bereich des Bauingenieurwesens und Umweltwissenschaften. Die Arbeit kann theoretischer, experimenteller oder konstruktiver Natur sein. Im Vordergrund steht die Erarbeitung von Ergebnissen unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden sowie die Präsentation der Ergebnisse. Das Projekt kann auch in Gruppen bearbeitet werden.
Leistungsnachweis
Es werden sowohl die Vorgehensweise während der Bearbeitung wie auch die schriftliche Ausarbeitung der Arbeit mit einem Notenschein bewertet. Wird die Arbeit als Gruppenarbeit angefertigt, so muss der individuelle Anteil der einzelnen Bearbeiter/Bearbeiterinnen erkennbar sein.
Verwendbarkeit
Das Modul Projekt ist erforderlich für den Abschluss des Master-Studiengangs Mathematical Engineering Bauingenieurwesens und Umweltwissenschaften. Der Abschluss der Projektarbeit ist Voraussetzung für den Beginn der Masterarbeit.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester, es beginnt im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres.



Modulname	Modulnummer
<b>Nichtlineare Statik</b>	3835

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Josef Kiendl	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	48	102	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13141	VL	Nichtlineare Statik	Pflicht	2
13142	UE	Nichtlineare Statik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				4

Empfohlene Voraussetzungen
Grundlagen der Statik (B.Sc.)
Qualifikationsziele
Die Studierenden beherrschen grundlegende Verfahren zur nichtlinearen Berechnung von Tragwerken und können diese selbständig anwenden. Sie wissen um ihre Bedeutung und können abschätzen, in welchen Fällen nichtlinear zu rechnen ist. Die Vorlesung stärkt damit insgesamt die analytischen Fähigkeiten sowie logisches und abstraktes Denkvermögen.
Inhalt
Grundlagen der geometrisch und physikalisch nichtlinearen Statik für Stäbe und ebene Flächentragwerke (Prof.Kiendl): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Physikalisch nichtlineare Theorie</li> <li>• Grenzlasttheorie</li> <li>• Fließgelenktheorie</li> <li>• E-Theorie II. Ordnung</li> <li>• Stabilitätsprobleme</li> <li>• Physikalisch und geometrisch nichtlineare Theorie</li> <li>• Nichtlineares Materialverhalten: Plastizitätstheorie</li> <li>• Grundlagen nichtlinearer numerischer Berechnungsverfahren (FEM)</li> <li>• Beulen von ebenen Flächentragwerken</li> </ul>
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten (sP-90 oder mP-30).
Verwendbarkeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflichtmodul für die Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME)</li> </ul>

- Empfohlenes Modul für das Modul Finite Methoden und Stoffgesetze Hochdynamik

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester.

Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Wintertrimester. Als Startzeitpunkt ist das Wintertrimester des 1. Studienjahres vorgesehen.

Modulname	Modulnummer
<b>Computersimulation von Strömungen</b>	3840

Konto	PFL Module ME-BAU - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Malcherek	Pflicht	4

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	48	102	5

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38401	VL	Numerische Methoden der Strömungsmechanik	Pflicht	2
38402	P	Großes Computerpraktikum Hydromechanik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				4

## Empfohlene Voraussetzungen

Für das Modul werden grundlegende Kenntnisse aus der Hydromechanik vorausgesetzt, so wie sie in der Vorlesung Hydromechanik I angeboten werden. Der Inhalt dieser Vorlesung kann auch auf dem Youtube-Kanal Hydromechanik und Wasserbau in der Playlist Hydrodynamik eingesehen und gegebenenfalls nachbereitet werden.

## Qualifikationsziele

In der Ingenieurpraxis werden heute die meisten Fragestellungen der angewandten Strömungsmechanik mit Programmsystemen bearbeitet, die Strömungen, die Belastungen durch solche, und die beteiligten Stofftransporte mit numerischen Modellen simulieren. Das Qualifikationsziel dieses Moduls besteht darin, erstmalig ein solches System exemplarisch anzuwenden oder zu entwickeln und hiermit ein gegebenes Strömungsproblem zu bewältigen. Dazu sollen zunächst einmal die verschiedenen Ebenen solcher CFD-Modelle (Konzeptionelles Modell, Diskretisierung, Programmierung) verstanden werden. Dann soll der Umgang mit einem solchen System für ein im Bauingenieurwesen oder den Umweltwissenschaften exemplarisches Problem (Rohrsysteme und/oder Oberflächengewässer) eingeübt werden. Ferner soll ein Blick in das Innere eines solchen Programmsystems geworfen werden, in dem die darin implementierten Methoden analysiert werden.

## Inhalt

Im theoretischen Teil des Moduls werden die Grundlagen der numerischen Strömungsmechanik behandelt, also

- Grundgleichungen für Strömungsprozesse,
- Kategorisierung von CFD-Systemen und konzeptionelle Modelle (DNS, LES, RANS),
- Zeitschrittverfahren,

- Finite-Differenzen-Verfahren,
- Finite-Volumen-Verfahren,
- Finite-Elemente-Verfahren,
- Euler-Lagrange-Verfahren,
- Anfang- und Randbedingungen,
- Turbulenzmodelle.

Im Praktikum werden ein oder zwei Anwendungsfälle exemplarisch mit kommerziellen oder selbst entwickelten CFD-Verfahren bearbeitet. Hierbei werden in jedem Jahrgang Schwerpunkte gebildet. Dies können so unterschiedliche Themen sein, wie

- Simulation einer Heizungsanlage mit Simulink/Simscape,
- Das Telemac-System für Oberflächengewässer,
- Rohrströmungen mit Ansys-CFX,
- Tiefengemittelte Modelle von Oberflächengewässern,
- Eindimensionale Modellierung von Absetzprozessen in der Wassersäule bis zur Bodenbildung,
- Thermohydraulische Modelle und Simulationen,
- Entwicklung eines eigenen 2DV-Modells.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 120 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten (sP-120 oder mP-30)

#### Verwendbarkeit

In der Wahlpflichtgruppe Modellierung und Simulation im Bauingenieurwesen des Master-Studiengangs Mathematical Engineering (Master ME) ist das Modul 1328 Modelle im Verkehr oder das Modul 3840 Computersimulation von Strömungen als Pflichtmodul zu belegen.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Wintertrimester. Als Startzeitpunkt ist das Wintertrimester des 1. Studienjahres vorgesehen. Im Rahmen eines Blended-Learning-Konzepts werden Vorlesungen als Präsenzveranstaltungen in Kombination mit Videoaufzeichnungen bei der Lehrveranstaltung Numerische Methoden der Strömungsmechanik angeboten. Zu jeder Videovorlesung wird eine Nachbesprechung mit Fragemöglichkeiten angeboten. Bei geringer Teilnehmerzahl werden einzelne Veranstaltungen im Konsens mit den Studierenden auch als Block angeboten.

Modulname	Modulnummer
Flugzeugaerodynamik	1063

Konto	PFL Module ME-LRT - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian J. Kähler	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	48	102	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10631	VL	Flugzeugaerodynamik	Pflicht	2
10632	UE	Flugzeugaerodynamik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse aus den Modulen „Höhere Mathematik“, „Strömungsmechanik“ und „Grundlagen der Aerodynamik“

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden sind in der Lage, dem Einfluss der Kompressibilität auf die Profilaerodynamik Rechnung zu tragen.  
 Die Studierenden beherrschen die Anwendung der Potentialgleichung bei kompressibler Strömung.  
 Die Schwierigkeiten des Flügels in der Transonik sind den Studierenden bekannt.  
 Die Studierenden wissen um die Auswirkung der Flügelpfeilung.  
 Die Studierenden kennen die Varianten mechanischer Hochauftriebshilfen und deren potentialtheoretische Berechnungsmethodik.  
 Den Studierenden ist die Berechnung von Strömungen an Verdichtungsstößen bzw. Expansionsfächern geläufig. Die Berechnung aerodynamischer Beiwerte an Profilen sowie die Grundzüge der Flächenregeln sind verstanden.  
 Die Studierenden verstehen die Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs.  
 Die Studierenden können die Umströmung einfacher Rumpfgeometrien mit Hilfe der Potentialtheorie nachvollziehen und kennen die mit reibungsbehafteter Strömung verbundenen Probleme und Gegenmaßnahmen.

#### Inhalt

- Kompressible Strömung/Aerodynamik
- Pfeilflügel
- Hochauftriebshilfen
- Reine Überschallaerodynamik
- Theorie schlanker Körper
- Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs
- Rumpfaerodynamik

<ul style="list-style-type: none"><li>• Flügel-Rumpf-Kombination</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 1. Springer Verlag, 2000.</li><li>• Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 2. Springer Verlag, 2000.</li><li>• Bertin J.J., Smith M.L.: Aerodynamics for Engineers. Prentice-Hall, 1989.</li><li>• Anderson J.D.: Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill Book Company, 1984.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Die Flugzeugaerodynamik stellt die Voraussetzung für die aerodynamische Auslegung von Fluggeräten in allen Machzahlbereichen zur Verfügung.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester. Es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Höhere Technische Mechanik</b>	1067

Konto	PFL Module ME-LRT - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Lion	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10671	VL	Höhere Technische Mechanik	Pflicht	4
10672	UE	Höhere Technische Mechanik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.</li> <li>Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.</li> <li>Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.</li> </ul>

Inhalt
<p>Die Studierenden erwerben im Modul <b>Höhere Technische Mechanik</b> das Grundwissen zur Beurteilung, Berechnung und Interpretation komplexerer Beanspruchungszustände von mechanischen Bauteilen und Systemen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grundlagen der Vektor- und Tensorrechnung, Differentialoperatoren, Einsteinsche Summenkonvention, Koordinatentransformation, Symmetrische und antimetrische Tensoren, Invarianten eines Tensors 2. Stufe, Hauptachsentransformation, Satz von Caley-Hamilton, Ableitungen von Feldfunktionen und Tensoren, Gausscher Integralsatz</li> <li>Kinematik deformierbarer Körper, Lagrangesche und Eulersche Beschreibung, Deformations- und Verschiebungsgradient, Geschwindigkeitsvektoren, Geschwindigkeitsgradienten und Tensoren, Verzerrungstensoren, geometrische Linearisierung</li> <li>Spannungstensoren der Referenz- und Momentankonfiguration, Deviator und Kugelanteil</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Globale und lokale Form der Bilanzgleichungen: Massenbilanz, Impulsbilanz, Drehimpulsbilanz, Energiebilanz und Entropiebilanz, Freie Helmholtzsche Energiefunktion, Herleitung und Auswertung der Clausius-Duhem-Ungleichung</li> <li>• Materialmodelle der Fluidmechanik und Festkörpermechanik, Fouriersche Wärmeleitung, Inkompressibilität, Navier-Stokes Gleichung, Lamé-Navier Gleichung, Zugversuch, Scherversuch- und Kompressionsversuch</li> <li>• Ausgewählte Probleme der Festkörpermechanik: isotrope und anisotrope Stoffe, Kompatibilitätsbedingungen, Airysche Spannungsfunktion, Materialmodelle in Zylinderkoordinaten, Einführung in die Elastoplastizität</li> <li>• Prinzip von d'Alembert und dessen Auswertung im Rahmen der Finite Elemente Methode</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altenbach: Kontinuumsmechanik, Springer Verlag.</li> <li>• Greve: Kontinuumsmechanik, Springer Verlag.</li> <li>• Gross, Hauger, Wriggers: Technische Mechanik 4, Springer Verlag.</li> <li>• Haupt: Continuum Mechanics and Theory of Materials, Springer Verlag.</li> <li>• Szabo: Höhere Technische Mechanik, Springer Verlag.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen sowie angewandte Forschung und Entwicklung auf den Gebieten der Luft- und Raumfahrttechnik. Das Modul Höhere Technische Mechanik bildet die Grundlage für weitere Lehrveranstaltungen des Masterstudiums.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.



Modulname	Modulnummer
<b>Wärme- und Stofftransport</b>	1090

Konto	PFL Module ME-LRT - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Michael Pfitzner	Pflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10901	VL	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	3
10902	UE	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden die Module „Höhere Mathematik“, „Thermodynamik I/II - Grundlagen der Wärmeübertragung“ sowie „Strömungslehre“. Vorteilhaft sind Kenntnisse der Aerodynamik und Gasdynamik.

#### Qualifikationsziele

1. Die Studierenden kennen die verschiedenen Arten des Wärmeübergangs und ihre Eigenschaften, die Äquivalenz von Wärme- und Stoffübergang und die Bedingungen, unter denen diese Äquivalenz gültig ist.
2. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, auch komplexere Wärmeübertragungsprobleme mittels analytischen Methoden zu analysieren und damit numerische Thermalsimulationen zu verifizieren.
3. Die Studierenden besitzen ein vertieftes Verständnis der Eigenschaften der Wärmeübertragungsarten und deren physikalischem Hintergrund.
4. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, kombinierte Wärme- und Stofftransportproblemstellungen selbstständig unter Verwendung von Standardliteratur zu lösen.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul „Wärme- und Stofftransport“ vertiefte Kenntnisse über die physikalischen Grundlagen der verschiedenen Arten der Wärmeübertragung und über besondere mathematische Berechnungsmethoden für die Berechnung von Wärmeübergangsaufgaben. Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Die Studierenden erhalten zunächst eine kurze Wiederholung der Eigenschaften der drei Arten von Wärmeübertragung: Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang, Strahlung. Es wird eine Übersicht über Anwendungen in der Antriebs- und Raumfahrttechnik gegeben, in denen die Wärme- und Stoffübertragung eine wichtige Rolle spielt.

- Nach einer kurzen Erläuterung der einfachen Berechnungsmethoden für die Wärmeleitung werden die Studierenden mit komplexeren analytischen Berechnungsmethoden vertraut gemacht.
- Mit den Studierenden werden Maßnahmen zur Erhöhung des Wärmeübergangs, insbesondere auch durch Erhöhung der übertragenden Oberfläche, diskutiert.
- Anschließend werden die Kenntnisse der Studierenden in Bezug auf den konvektiven Wärmeübergang vertieft. Es werden die Zusammenhänge des konvektiven Wärmeübergangs mit den Navier-Stokes-Gleichungen (inkl. Energiegleichung) beleuchtet und daraus die Ähnlichkeitstheorie genauer begründet.
- Die in der Strömungsmechanik vermittelten Kenntnisse über die Berechnung von Grenzschichten werden für die Wärmeübertragung verallgemeinert. Es werden sowohl laminare wie turbulente Strömungen diskutiert und es wird der Wärmeübergang bei sehr schneller Überströmung erläutert.
- Beispiele gekoppelter Problemstellungen mit Wärmeleitung, konvektivem Wärmeübergang und Phasenwechsel vertiefen die Fähigkeiten der Studierenden.
- Es werden die Grundgleichungen für einfachen Stofftransport in binären Systemen hergeleitet und die Äquivalenz der Gleichungen mit den Grundgleichungen der Wärmeübertragung für die Wärmeleitung und den konvektiven Wärmeübergang erläutert.

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

**Verwendbarkeit**

Das Modul vertieft Inhalte des „Grundlagen der Wärmeübertragung“. Es bietet Methoden zur Analyse und Berechnung von anspruchsvolleren Problemen des warmen Maschinenbaus an. In der Luft- und Raumfahrttechnik werden die Inhalte für die Entwicklung von Antrieben und von Raumfahrtsystemen benötigt.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Projektarbeit (ME-MLRTS)</b>	1545

Konto	PFL Module ME-LRT - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts	Wahlpflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	9

Empfohlene Voraussetzungen
Alle Fachmodule des Master-Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik, die für die Bearbeitung der jeweiligen Problemstellung erforderlich sind.
Qualifikationsziele
Der Studierende erhält Einblick in aktuelle Forschungsarbeiten der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik. Er ist vertraut mit den zur Bearbeitung solcher Fragestellungen erforderlichen wissenschaftlichen Methoden. Er ist in der Lage, eine Problemstellung aus diesem Bereich unter Anleitung zu analysieren, klar darzustellen und einen Lösungsweg aufzuzeigen.
Inhalt
Selbstständige Bearbeitung einer umfangreicheren Problemstellung aus einem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik. Die Arbeit kann theoretischer, experimenteller oder konstruktiver Natur sein. Im Vordergrund steht die Erarbeitung von Ergebnissen unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden sowie die Präsentation der Ergebnisse. Das Projekt kann auch in Gruppen bearbeitet werden.
Leistungsnachweis
Es werden sowohl die Vorgehensweise während der Bearbeitung wie auch die schriftliche Ausarbeitung der Arbeit mit einem Notenschein bewertet. Wird die Arbeit als Gruppenarbeit angefertigt, so muss der individuelle Anteil der einzelnen Bearbeiter/ Bearbeiterinnen erkennbar sein.
Verwendbarkeit
Der Abschluss der Projektarbeit ist Voraussetzung für den Beginn der Masterarbeit.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester. Es beginnt spätestens im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres, kann aber in Absprache mit dem Betreuer früher beginnen.

Modulname	Modulnummer
Computational Fluid Dynamics I	3827

Konto	PFL Module ME-LRT - ME 2021
-------	-----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. (habil) Markus Klein	Pflicht	3

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	48	102	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38271	VL	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	2
38272	UE	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse in numerischer Mathematik (entsprechend den Inhalten des Bachelor- und Master-Moduls "Numerische Mathematik"). Vorlesung Strömungsmechanik.

Qualifikationsziele
Die numerische Behandlung von strömungsmechanischen Problemstellungen ist für viele Bereiche der Luft- und Raumfahrt zu einem unentbehrlichen Standard-Werkzeug geworden. Die Vorlesung "Computational Fluid Dynamics (CFD)" macht die Studenten mit den Verfahren vertraut, mit denen sich der praktisch arbeitende Ingenieur konfrontiert sieht. Dazu gehören die eigentliche Berechnung inkompressibler und kompressibler Strömungen, sowie eine Einführung in die Theorie der Turbulenzmodellierung.

Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispiele von CFD Simulationen</li> <li>• Gittergenerierung, Gitter und ihre Eigenschaften</li> <li>• Behandlung inkompressibler Strömungen</li> <li>• Behandlung kompressibler Strömungen</li> <li>• Behandlung von turbulenten Strömungen (DNS, LES, DES, URANS, Turbulenzmodelle)</li> <li>• Grundgleichungen der Fluidodynamik, Näherungen und mathematischer Charakter</li> <li>• Finite Differenzen Methode</li> <li>• Finite Volumen Methode</li> <li>• Zeitintegrationsverfahren für instationäre Strömungen</li> <li>• Eigenschaften finiter Approximationen</li> <li>• Lösungsverfahren für lineare Gleichungssysteme</li> <li>• Lösungsverfahren für die Navier-Stokes-Gleichungen inkompressibler Strömungen</li> <li>• Randbedingungen</li> </ul>

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Blazek J.: Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. Elsevier, Amsterdam, 2001.</li><li>• Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.</li><li>• Hirsch Charles: Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. I&amp;II. Butterworth Heinemann, 2007.</li><li>• LeVeque Randall J.: Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics. Cambridge University Press, 2002.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 75 Minuten (Hilfsmittel: selbst angefertigte Mitschrift aus der Vorlesung (1 x DIN A4 beidseitig beschrieben), kein Taschenrechner)  oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)
<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul kann in allen technisch orientierten Bereichen des LRT-Studiums verwendet werden.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Masterarbeit ME</b>	1097

Konto	Masterarbeit - ME 2020
-------	------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Mathias Richter	Pflicht	4

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
900	0	900	30

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden die allgemeinen Kenntnisse aus dem Masterstudium Mathematical Engineering.
Qualifikationsziele
Die Studierenden sind in der Lage, eine abgegrenzte Problemstellung aus einem Bereich des Mathematical Engineering weitgehend selbstständig zu analysieren und zu bearbeiten. Sie erhalten Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet und können einen Weg zur Lösung des Problems aufzeigen. Sie sind in der Lage, den bearbeiteten Sachverhalt und die gefundene Lösung klar darzustellen.
Inhalt
In der Masterarbeit soll eine Aufgabe aus einem begrenzten Problembereich unter Anleitung selbstständig mit bekannten Methoden wissenschaftlich bearbeitet werden. In der schriftlichen Ausarbeitung sind die erzielten Ergebnisse systematisch zu entwickeln und zu erläutern.
Leistungsnachweis
Es ist eine schriftliche Ausarbeitung zu erstellen und diese ist im Rahmen eines Kolloquiums zu präsentieren. Die Präsentation findet als Vortrag von ca. 20-30 Minuten Dauer statt. Die Präsentation wird benotet und geht mit 1/15 (entsprechend 2 Leistungspunkten) in die Modulnote ein.
Verwendbarkeit
Pflichtmodul in den Masterstudiengängen ME in allen Wahlpflichtgruppen. Die Anfertigung der Masterarbeit bereitet auf eigenständige systematisch durchgeführte Arbeitsvorgänge in der beruflichen Tätigkeit oder der wissenschaftlichen Forschung vor.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert zwei Trimester.

Modulname	Modulnummer
Seminar studium plus, Training	1008

Konto	Studium+ Master
-------	-----------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
N.N.	Pflicht	

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	72	78	5

Qualifikationsziele
<p><b>studium plus-Seminare:</b></p> <p>Die Studierenden erwerben personale, soziale oder methodische Kompetenzen, um das Studium als starke, mündige Persönlichkeit zu verlassen. Die studium plus-Seminare bereiten die Studierenden dadurch auf ihre Berufs- und Lebenswelt vor und ergänzen die im Studium erworbenen Fachkenntnisse.</p> <p>Durch die Vermittlung von Horizontwissen wird die eingeschränkte Perspektive des Fachstudiums erweitert. Dadurch lernen die Studierenden, das im Fachstudium erworbene Wissen in einem komplexen Zusammenhang einzuordnen und in Relation zu den anderen Wissenschaften zu sehen.</p> <p>Durch die exemplarische Auseinandersetzung mit gesellschaftsrelevanten Fragen erwerben die Studierenden die Kompetenz, diese kritisch zu bewerten, sich eine eigene Meinung zu bilden und diese engagiert zu vertreten. Das dabei erworbene Wissen hilft, Antworten auch auf andere gesellschaftsrelevante Fragestellungen zu finden.</p> <p>Durch die Steigerung der Partizipationsfähigkeit wird die mündige Teilhabe an sozialen, kulturellen und politischen Prozessen der modernen Gesellschaft gefördert.</p> <p><b>studium plus-Trainings:</b></p> <p>Die Studierenden erwerben personale, soziale und methodische Kompetenzen, um als Führungskräfte auch unter komplexen und teils widersprüchlichen Anforderungen handlungsfähig zu bleiben bzw. um ihre Handlungskompetenz wiederzuerlangen.</p> <p>Damit ergänzt das Trainingsangebot die im Rahmen des Studiums erworbenen Fachkenntnisse insofern, als diese fachlichen Kenntnisse von den Studierenden in einen berufspraktischen Kontext eingebettet werden können und Möglichkeiten zur Reflexion des eigenen Handelns angeboten werden.</p>
Inhalt
<b>Kurzbeschreibung:</b>

Die **Seminare** vermitteln Einblicke in aktuelle Themen und neue Wissensgebiete. Sie finden wöchentlich während an einem - mit der jeweiligen Fakultät vereinbarten - Wochentag in den sog. Blockzeiten oder auch am Wochenende statt, wobei den Studierenden die Wahl frei steht.

Die **Trainings** entsprechen den Trainings für Führungskräfte in modernen Unternehmen und finden immer am Wochenende statt.

### **Langbeschreibung:**

Die **studium plus-Seminare** bieten Lerninhalte, die Horizont- oder Orientierungswissen vermitteln bzw. die Partizipationsfähigkeit steigern. Sämtliche Inhalte sind auf den Erwerb personaler, sozialer oder methodischer Kompetenzen ausgerichtet. Sie bilden die Persönlichkeit und erhöhen die Beschäftigungsfähigkeit.

Bei der Vermittlung von Horizontwissen werden die Studierenden beispielsweise mit den Grundlagen anderer, fachfremder Wissenschaften vertraut gemacht, sie lernen Denkweisen und "Kulturen" der fachfremden Disziplinen kennen. Bei der Vermittlung von Orientierungswissen steigern die Studierenden ihr Reflexionsniveau, indem sie sich exemplarisch mit gesellschaftsrelevanten Themen auseinandersetzen. Bei der Vermittlung von Partizipationswissen steht der Einblick in verschiedene soziale und politische Prozesse im Vordergrund.

Einen detaillierten Überblick bietet das jeweils gültige Seminarangebot von *studium plus*, das von Trimester zu Trimester neu erstellt und den Erfordernissen der künftigen Berufswelt sowie der Interessenslage der Studierenden angepasst wird.

Die **studium plus-Trainings** bieten berufsrelevante und an den Themen der aktuellen Führungskräfteentwicklung von Organisationen und Unternehmen orientierte Lerninhalte.

Einen detaillierten und aktualisierten Überblick bietet das jeweils gültige Trainingsangebot von *studium plus*.

### **Leistungsnachweis**

#### **studium plus-Seminare:**

- In Seminaren werden Notenscheine erworben.
- Die Leistungsnachweise, durch die der Notenschein erworben werden kann, legt der/die Dozent/in in Absprache mit dem Zentralinstitut studium plus vor Beginn des Einschreibeverfahrens für das Seminar fest. Hierbei sind folgende wie auch weitere Formen sowie Mischformen möglich: Klausur, mündliche Prüfung, Hausarbeit, Referat, Projektbericht, Gruppenarbeit, Mitarbeit im Kurs etc. Bei Mischformen erhält der Studierende verbindliche Angaben darüber, mit welchem prozentualen Anteil die jeweilige Teilleistungen gewichtet werden.
- Der Erwerb des Scheins ist an die regelmäßige Anwesenheit im Seminar gekoppelt.
- Bei der während des Einschreibeverfahrens stattfindenden Auswahl der Seminare durch die Studierenden erhalten diese verbindliche Informationen über die Modalitäten des Scheinerwerbs für jedes angebotene Seminar.

#### **studium plus-Trainings:**



- Die Trainings sind unbenotet, die Zuerkennung der ECTS-Leistungspunkte ist aber an die Teilnahme an der gesamten Trainingszeit gekoppelt.

**Verwendbarkeit**

Das Modul ist für sämtliche Masterstudiengänge gleichermaßen geeignet.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 2mal 1 Trimester.

Das Modul findet statt im ersten Studienjahr jeweils im Frühjahrstrimester und im Herbsttrimester.

Als Startzeitpunkt ist das Frühjahrstrimester im 1. Studienjahr vorgesehen.

# Übersicht des Studiengangs: Konten und Module

## Legende:

FT	= Fachtrimester des Moduls
PrFT	= frühestes Trimester, in dem die Modulprüfung erstmals abgelegt werden kann
Nr	= Konto- bzw. Modulnummer
Name	= Konto- bzw. Modulname
M-Verantw.	= Modulverantwortliche/r
ECTS	= Anzahl der Credit-Points

FT	PrFT	Nr	Name	M-Verantw.	ECTS
		<b>7</b>	<b>Pflichtmodule - ME 2021</b>		<b>31</b>
1	1	1530	Partielle Differentialgleichungen	T. Apel	5
1	3	1531	Simulation	O. Rose	6
1	1	1532	Stochastik	M. Richter	5
2	2	1533	Quantitative Modelle	M. Siegle	5
2	3	3502	Nichtlineare FEM	A. Popp	5
3	3	3649	Vertiefte Kapitel der Angewandten Mathematik	M. Gerdts	5
		<b>8</b>	<b>Wahlpflichtgruppe: IT-Sicherheit und Kommunikationssysteme - ME 2021</b>		<b>54</b>
		<b>8a</b>	<b>PFL Module ME-ITSK 2021</b>		<b>36</b>
2	2	1244	Kommunikationstechnik II	B. Lankl	5
1	6	3459	Grundlagen der Informationssicherheit	W. Hommel	6
1	1	6050	Signalverarbeitung	A. Knopp	5
1	1	6051	Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik und Antennen	S. Lindenmeier	5
3	3	6053	Kanalcodierung	A. Knopp	5
2	2	6060	Digitale Filter und Array Processing	A. Knopp	5
3	3	6062	Nachrichtentheorie und Übertragungssicherheit	B. Lankl	5
		<b>8b</b>	<b>WPFL Module ME-ITSK 2021</b>		<b>18</b>
3	3	1168	Integrierte Anwendungssysteme im Produkt Lifecycle Management	A. Karcher	6
3	4	1211	Algorithmen in der Mathematik	C. Greither	9
1	2	1518	Formale Entwicklung korrekter Software	B. Elbl	6
4	4	3665	Benutzbare Sicherheit	F. Alt	9
1	1	5502	Netzsicherheit	G. Dreo Rodosek	6
1	2	5503	Hardwaresicherheit	K. Buchenrieder	6
1	4	5504	Datenschutz und Privacy	A. Wacker	6
2	2	5505	Systemsicherheit	G. Teege	6
2	2	5507	Anwendungssicherheit	W. Hommel	6
2	3	5508	Security- und IT- Management	U. Lechner	8
		<b>9</b>	<b>Wahlpflichtgruppe: Mechatronik-ME 2021</b>		<b>54</b>
		<b>9a</b>	<b>PFL Module Mechatronik-ME 2021</b>		<b>29</b>
2	2	1227	Praktikum: Elektrische Maschinen	D. Gerling	5
2	3	1237	Systeme der Leistungselektronik	T. Brückner	6
1	1	1240	Messtechnik und Sensorik	C. Kargel	5
1	1	1241	Automatisierungstechnik	C. Hillermeier	5
1	3	1242	Antriebsregelung und Aktorik, EMV in der Energietechnik	D. Gerling	8

		<b>9b</b>	<b>WPFL Module Mechatronik- ME 2021</b>		<b>25</b>
		<b>10</b>	<b>Wahlpflichtgruppe: Modellierung und Simulation Bauingenieurwesen - ME 2021</b>		<b>54</b>
		<b>10a</b>	<b>PFL Module ME-BAU - ME 2021</b>	<i>Nur 39 ECTS von maximal</i>	<b>49</b>
3	3	1328	Modelle im Verkehr	S. Hoffmann	5
1	1	1334	Kontinuumsmechanik und Werkstoffmodelle	M. Brünig	5
3	3	1343	Schalentragwerke	J. Kiendl	5
2	2	1468	Bauen im Einsatz und Sicherheit der baulichen Infrastruktur	J. Kiendl	5
4	4	1539	Massivbau Vertiefung	T. Braml	5
2	2	1540	Stahlbau Vertiefung	T. Braml	5
3	0	1544	Projektarbeit (ME MSB)	T. Apel	9
1	1	3835	Nichtlineare Statik	J. Kiendl	5
4	4	3840	Computersimulation von Strömungen	A. Malcherek	5
		<b>10b</b>	<b>WPFL Module ME-BAU - ME 2021</b>		<b>15</b>
		<b>11</b>	<b>Wahlpflichtgruppe: Modellierung luft- und raumfahrttechnischer Systeme - ME 2021</b>		<b>54</b>
		<b>11a</b>	<b>PFL Module ME-LRT - ME 2021</b>		<b>29</b>
1	1	1063	Flugzeugaerodynamik	C. Kähler	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
3	3	1090	Wärme- und Stofftransport	M. Pfitzner	5
3	0	1545	Projektarbeit (ME-MLRTS)	M. Gerdts	9
3	3	3827	Computational Fluid Dynamics I	M. Klein	5
		<b>11b</b>	<b>WPFL Module ME-LRT - ME 2021</b>		<b>25</b>
		<b>12</b>	<b>Masterarbeit - ME 2020</b>		<b>30</b>
4		1097	Masterarbeit ME	M. Richter	30
		<b>99MA</b>	<b>Verpflichtendes Begleitstudium plus</b>		<b>5</b>
	0	1008	Seminar studium plus, Training	N. N.	5

# Übersicht des Studiengangs: Lehrveranstaltungen

## Legende:

FT	= Fachtrimester der Veranstaltung
Nr	= Veranstaltungsnummer
Name	= Veranstaltungsname
Art	= Veranstaltungsart
P/Wp	= Pflicht / Wahlpflicht
TWS	= Trimesterwochenstunden

FT	Nr	Name	Art	P/Wp	TWS
1	10101	Ausgewählte Kapitel der IT-Sicherheit	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	10102	Netzsicherheit	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	10103	Praktikum Netzsicherheit	Praktikum	Pf	3
1	10311	Eingebettete Systeme	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	10631	Flugzeugaerodynamik	Vorlesung	Pf	2
1	10632	Flugzeugaerodynamik	Übung	Pf	2
1	10671	Höhere Technische Mechanik	Vorlesung	Pf	4
1	10672	Höhere Technische Mechanik	Übung	Pf	2
1	11432	Sicherheit in der Informationstechnik	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	11433	Simulation	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	12401	Messtechnik und Sensorik	Vorlesung/Übung	Pf	6
1	12411	Automatisierungstechnik	Vorlesung/Übung	Pf	5
1	12421	Antriebsregelung und Aktorik I	Vorlesung/Übung	Pf	2
1	12451	Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	13141	Nichtlineare Statik	Vorlesung	Pf	2
1	13142	Nichtlineare Statik	Übung	Pf	2
1	13341	Kontinuumsmechanik und Werkstoffmodell	Vorlesung	Pf	4
1	13342	Tensorrechnung	Vorlesung	Pf	1
1	15171	Entwurf Verteilter Systeme	Vorlesung/Übung	WPf	5
1	15174	Spezifikation	Vorlesung/Übung	WPf	5
1	15301	Partielle Differentialgleichungen	Vorlesung/Übung	Pf	6
1	15321	Stochastik	Vorlesung/Übung	Pf	6
1	36653	Praktikum Design sicherer und benutzbarer Systeme	Praktikum	Pf	3
1	60501	Signalverarbeitung	Vorlesung/Übung	Pf	5
1	60511	Praktikum: Übertragungssysteme der Hochfrequenztechnik	Praktikum	Pf	2
2	10104	IT-Forensik	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	10106	Sicherheitsmanagement	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	10107	Sichere vernetzte Anwendungen	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	10321	Quantitative Modelle	Vorlesung/Übung	Pf	5
2	12271	Praktikum Elektrische Maschinen	Praktikum	WPf	5
2	12371	Systeme der Leistungselektronik I	Vorlesung/Übung	Pf	4
2	12422	Antriebsregelung und Aktorik II	Vorlesung/Übung	Pf	4
2	12441	Kommunikationstechnik II	Vorlesung/Übung	Pf	5
2	14681	Bauen im Einsatz	Vorlesung	Pf	2
2	14682	Sicherheit der baulichen kritischen Infrastruktur für Bund und Bundeswehr	Vorlesung	Pf	2
2	15172	Methoden und Werkzeuge	Vorlesung/Übung	WPf	5

2	15401	Ingenieurholzbau	Vorlesung	Pf	1
2	15402	Stahl- und Verbundkonstruktionen	Vorlesung	Pf	1
2	15403	Stahl- und Verbundkonstruktionen	Übung	Pf	1
2	15404	Vertiefung Stahl- und Verbundbrücken	Vorlesung	Pf	2
2	36651	Benutzbare Sicherheit	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	55031	Embedded Systems Security	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	55042	Privacy Enhancing Technologies	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	55051	Betriebssystemsicherheit	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	55071	Language-based Security	Vorlesung	Pf	3
2	60601	Digitale Filter	Vorlesung/Übung	Pf	3
2	60602	Array Processing	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	10471	IT-Governance	Vorlesung/Übung	Pf	5
3	10901	Wärme- und Stofftransport	Vorlesung	Pf	3
3	10902	Wärme- und Stofftransport	Übung	Pf	2
3	11681	Integrierte Anwendungssysteme im Product Lifecycle Management	Vorlesung	Pf	3
3	11682	Integrierte Anwendungssysteme im Product Lifecycle Management	Übung	Pf	2
3	12111	Algorithmische Zahlentheorie	Vorlesung/Übung	Pf	5
3	12113	Quantencomputer	Vorlesung/Übung	WPf	3
3	12372	Systeme der Leistungselektronik II	Vorlesung/Übung	Pf	2
3	12423	EMV in der Energietechnik	Vorlesung/Übung	Pf	2
3	12532	Übertragungssicherheit	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	13281	Transportinformatik	Vorlesung	Pf	1
3	13282	Transportinformatik	Übung	Pf	2
3	13283	Entscheidungs- und Optimierungsmethoden	Vorlesung	Pf	1
3	13284	Verkehrstheorie und Anwendungen	Vorlesung	Pf	2
3	13431	Mechanik der Schalentragwerke	Vorlesung	Pf	2
3	13432	Mechanik der Schalentragwerke	Übung	Pf	2
3	13433	Differentialgeometrie	Vorlesung	Pf	2
3	13811	Nachrichten- und Informationstheorie	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	15312	Praktikum Modellbildung und Simulation (klein)	Praktikum	Pf	2
3	35021	Nichtlineare FEM	Vorlesung	Pf	4
3	35022	Nichtlineare FEM	Übung	Pf	2
3	3649-V1	Vertiefte Kapitel der Angewandten Mathematik Veranstaltung_1	Vorlesung		6
3	38271	Computational Fluid Dynamics I	Vorlesung	Pf	2
3	38272	Computational Fluid Dynamics I	Übung	Pf	2
3	60531	Kanalcodierung	Vorlesung/Übung	Pf	5
4	12112	Ausgewählte mathematische Methoden in Kryptographie und Codierungstheorie	Vorlesung/Übung	WPf	3
4	15391	Spannbetonbau - Vertiefung	Vorlesung	Pf	1
4	15392	Spannbetonbau - Vertiefung	Übung	Pf	1
4	15393	Massivbrücken - Vertiefung	Vorlesung	Pf	1
4	15394	Massivbrücken - Vertiefung	Übung	Pf	1
4	15395	Hoch- und Industriebau	Vorlesung	Pf	2
4	3665-V1	Sichere Mensch-Maschine Schnittstellen	Vorlesung/Übung	Pf	3
4	38401	Numerische Methoden der Strömungsmechanik	Vorlesung	Pf	2
4	38402	Großes Computerpraktikum Hydromechanik	Praktikum	Pf	2

4	55041	Datenschutz	Vorlesung/Übung	Pf	3
---	-------	-------------	-----------------	----	---

