

*der Bundeswehr*  
**Universität**  **München**

**Universität der Bundeswehr München**  
Werner-Heisenberg-Weg 39  
85577 Neubiberg

**Modulhandbuch des Studiengangs**

**Luft- und Raumfahrttechnik  
(Master of Science)**

**an der  
Universität der Bundeswehr München**

**(Version 2017)**

**Modulhandbuch gültig ab  
Studiengang 2017**

## **Master-Studiengang Luft- und Raumfahrttechnik**

Das Master-Studium der Luft- und Raumfahrttechnik vermittelt die Fähigkeit, die wissenschaftlichen Methoden der Luft- und Raumfahrttechnik anzuwenden, sie in ausgewählten Bereichen weiter zu entwickeln und im Hinblick auf die Auswirkungen des technologischen Wandels verantwortlich zu handeln. Der Master-Studiengang ist zugleich ein auf die Promotion vorbereitendes wissenschaftliches Studium für besonders qualifizierte Studierende.

### **Ziele des Master-Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik**

Der Master-Studiengang Luft- und Raumfahrttechnik zielt inhaltlich auf die gleichen berufspraktisch relevanten Grundfähigkeiten wie der Bachelor-Studiengang, wobei tiefere Kenntnisse und größere Reife erreicht werden. Insbesondere bzgl. Problemlösungs- und Leitungskompetenz ergibt sich ein deutlicher Unterschied. Der Master-Studiengang ist forschungsorientiert. Er verbreitert und vertieft die Fachkenntnisse, befähigt zum selbstständigen wissenschaftlichen Arbeiten, legt die Voraussetzungen zur Weiterentwicklung des Faches und bereitet auf eine Promotion vor.

Dieser Studiengang qualifiziert insbesondere für eigenverantwortliche und leitende Tätigkeiten; er zeichnet sich durch Wissenschaftlichkeit, Förderung von Selbstständigkeit, Urteils- und Entscheidungsfähigkeit und durch Forschungsnähe aus. Er ist darauf ausgelegt, dass seine Absolventen von Anfang an selbstständige Tätigkeiten und anspruchsvolle Aufgaben in Industrie, Verwaltung und Wissenschaft übernehmen können. Insbesondere sollen die Absolventen später in der Lage sein, leitende Funktionen auszufüllen.

Neben einer Verbreiterung der im vorausgegangenen Bachelorstudium erworbenen Kenntnisse zielt der Master-Studiengang auch auf eine Vertiefung und Spezialisierung. Dabei lässt er weitgehende Wahlmöglichkeiten zu. Durch die konsekutive Anlage, die auf einem Bachelor-Studium der Luft- und Raumfahrttechnik aufbaut, wird die angemessene fachliche Tiefe erreicht. Der Studiengang ist so ausgelegt, dass die Absolventen für anspruchsvolle Entwicklungsaufgaben das notwendige Rüstzeug erlangen. Die Vertiefung in einem Spezialgebiet der Luft- und Raumfahrttechnik ist ein wesentlicher Kern des Studiengangs. Diese Ausbildung findet ihren Abschluss in der selbstständig angefertigten, wissenschaftlichen Master-Arbeit.

Absolventen des Studiengangs haben ein Qualifikationsprofil mit folgenden Attributen:

- Sie haben die Ausbildungsziele des Bachelor-Studiums in einem fachlichen Reifeprozess weiter verarbeitet und eine größere Sicherheit in der Anwendung und Umsetzung der fachlichen und außerfachlichen Kompetenzen erworben.
- Sie haben tiefgehende Fachkenntnisse in einem ausgewählten Schwerpunktgebiet der Luft- und Raumfahrttechnik erworben.
- Sie verfügen über „Tiefe und Breite“, um sich sowohl in die zukünftigen Techniken im eigenen Fachgebiet als auch in die Randgebiete des eigenen Fachgebietes rasch einzuarbeiten zu können.
- Sie sind fähig, die erworbenen Methoden der Luft- und Raumfahrttechnik zur Formulierung und Lösung komplexer Aufgabenstellungen in Forschung und Entwicklung in der Industrie oder in Forschungseinrichtungen erfolgreich einzusetzen, sie kritisch zu hinterfragen und sie bei Bedarf auch weiterzuentwickeln.

- Sie haben sich verschiedene technische und soziale Kompetenzen (Abstraktionsvermögen, systemanalytisches Denken, Team- und Kommunikationsfähigkeit) erworben, die auf Führungsaufgaben vorbereiten.
- Sie sind nicht nur für Aufgaben im Bereich Forschung und Entwicklung, sondern auch für andere anspruchsvolle Aufgaben und insbesondere auch für Führungsaufgaben in Wirtschaft und Verwaltung sehr gut ausgebildet.

Für Absolventen des Masterstudienganges Luft- und Raumfahrttechnik besteht ein großer Bedarf in der Wirtschaft. Sie sind sehr gefragt in der

- nationalen wie internationalen Luft- und Raumfahrtindustrie sowie bei den
- Betreibern von Luftfahrtgerät (Flug- bzw. Luftfahrtgesellschaften) und den
- zuständigen Bundesbehörden (u.a.: Luftfahrtbundesamt LBA, Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung BFU, Bundesministerien für Verkehr und Verteidigung).
- Auch in europäischen Behörden, wie der European Space Agency (ESA) oder der European Organization for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL) findet der Masterabsolvent Anstellung.

Im wissenschaftlichen Bereich finden Masterabsolventen als wissenschaftliche Mitarbeiter auf Zeit (für eine Promotion) oder als Dauermitarbeiter ein breites Betätigungsfeld an

- wissenschaftlichen Universitäten,
- Fachhochschulen,
- Forschungseinrichtungen (u.a.: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik DLR, Institute der Fraunhofer Gesellschaft FhG).

Auch abseits der eigentlichen Luft- und Raumfahrtindustrie können die Masterabsolventen des Studienganges Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt werden in den

- Industriezweigen des Kraftfahrzeug- und Schienenfahrzeugbaus, der Schiffstechnik und des allgemeinen Maschinenbaus. Auch Unternehmen aus der Windenergie- und Medizintechnik kommen in Frage.
- Software-, System- und Beratungshäuser bieten ebenfalls geeignete Beschäftigungsstellen an.



			Luftfahrt-system-technik		Bauweisen & Werkstoffe		Aerothermo-dynamik		Flug-führungs-systeme		Antriebe		Raumfahrt-technik		Weltraum-nutzung		#BEZUG!		#BEZUG!		#BEZUG!		TIM	
		ECTS																						
			p 2		p 2		p 2		p 2		p 2		p 2		p 2		p 2		p 2		p 2		p 2	
			wp 5		p 5						wp 5						wp 5				p 5		wp 5	
					p 5						wp 5													
					wp 3								wp 5											
					p 5								wp 5						p 5					
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
							p 5				p 5										p 5			
					</																			



## Wahlmodule im Masterstudium

ModNr neu	wählbar im	verantwortl.	
<b>WT</b>			
1153	1. od. 4. Trim.	v. Czarnecki	<b>Ausgewählte Probleme im militärischen Einsatz von Werk- und Betriebsstoffen</b>
2477	1. od. 4. Trim.	Schmucker	<b>Fernwaffen in Entwicklungsländern</b>
1174	1. od. 4. Trim.	Katzy	<b>Innovationmanagement and Entrepreneurship</b>
1175	1. od. 4. Trim.	Wurst	<b>Kälte- und Klimatechnik</b>
1193	1. od. 4. Trim.	Paetzold	<b>Modellbildung und Simulation in der Produktentwicklung</b>
1199	1. od. 4. Trim.	Färber	<b>Personal-Management und -Führung (geht über 2 Trimester)</b>
1201	1. od. 4. Trim.	Paetzold	<b>Praktische Produktentwicklung</b>
1357	1. od. 4. Trim.	Gwinner	<b>Ingenieurstatistik</b>
1356	nur 4. Trimester	Johlitz	<b>Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung</b>
1194	nur 4. Trimester	Lion/Höfer	<b>Nichtlineare Finite-Elemente-Methode</b>
1200	nur 4. Trimester	Schulte	<b>Praktische Flugversuchstechnik</b>
1204	nur 4. Trimester	Niehuis/Happel	<b>Rechenverfahren zur Turbomaschinenauslegung</b>
1206	nur 4. Trimester	Huber	<b>Satellitenbetrieb Praxis</b>
1208	nur 4. Trimester	Breuer	<b>Stochastische Schwingungen in Theorie und Praxis</b>
1353	nur 4. Trimester	Gudladt	<b>Betriebsfestigkeit</b>
1354	nur 4. Trimester	Stütz	<b>Unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen</b>
<b>FT</b>			
1172	2. Trimester	Gerds	<b>Flugbahnoptimierung</b>
1192	2. Trimester	Popp	<b>Mensch-Maschine Interaktion</b>
1355	2. Trimester	Gerds	<b>Praktikum Optimale Steuerung</b>
1212	2. Trimester	Katzy	<b>User Centric R&amp;D Management</b>
1213	2. Trimester	Gwinner	<b>Vertiefte Kapitel zur Numerik</b>
<b>HT</b>			
1154	3. Trimester	v. Czarnecki	<b>Einführung in die Klebtechnik</b>
1161	3. Trimester	Lion	<b>Fahrzeugdynamik</b>
1173	3. Trimester	Heinrichs	<b>Grundlagen der terrestrischen Kommunikations- und Ortungsverfahren</b>
1176	3. Trimester	Schulte	<b>Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure</b>
1191	3. Trimester	Marburg	<b>Maschinendynamik</b>
1202	3. Trimester	Pany	<b>Präzise Orbitbestimmung</b>
1203	3. Trimester	Paetzold	<b>Produkt- und Innovationsmanagement</b>
1205	3. Trimester	Huber	<b>Satellitenbetrieb</b>
1207	3. Trimester	Marburg	<b>Stochastische Finite-Elemente-Methode</b>
1209	3. Trimester	Schällig	<b>Thermalhaushalt bei Satelliten</b>
1358	3. Trimester	v. Hundelshausen	<b>Praktikum Prozessrechentechnik</b>



# Inhaltsverzeichnis

## **Pflicht- und Wahlpflichtmodule schwerpunktübergreifend 2017**

1049 Antriebskomponenten.....	5
1050 Autonome Systeme.....	7
1051 Betriebsfestigkeit von Strukturwerkstoffen.....	9
1052 Chemische Thermodynamik.....	12
1054 Dynamik und Regelung von Satelliten.....	14
1055 Erdbeobachtung.....	16
1056 Filter- u Schätzverfahren.....	20
1057 Finite Elemente.....	22
1058 Flugführungssysteme.....	24
1059 Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum.....	29
1060 Flugführung und Automation.....	31
1061 Flugsystemtechnik I.....	34
1062 Flugsystemtechnik II.....	37
1063 Flugzeugaerodynamik.....	39
1064 Flugzeugentwurf.....	41
1065 FVW-Strukturen.....	44
1066 Gasdynamik.....	47
1067 Höhere Technische Mechanik.....	49
1068 Leichtbaustrukturen.....	51
1069 Luftfahrtantriebe.....	53
1070 Kontinuierliche und Digitale Regelung.....	56
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften.....	60
1072 Messmethoden in der Strömungsmechanik.....	62
1073 Messtechnik.....	64
1075 Moderne Methoden der Regelungstechnik.....	66
1076 Moderne Strukturwerkstoffe.....	68
1077 Nichtgleichgewichts-Thermodynamik.....	70
1078 Numerische Mathematik.....	72
1079 Projektmanagement.....	74
1080 Prozessrechentechnik.....	76
1081 Raumfahrtantriebe.....	78
1082 Regelungstechnik.....	80
1083 Regelungstechnisches Rechnerpraktikum.....	83
1084 Satellitennavigation I.....	85
1085 Satellitennavigation II.....	88

1086 Satellitensysteme.....	92
1088 Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen.....	94
1089 Strukturdynamik.....	96
1090 Wärme- und Stofftransport.....	99
1091 Weltraumphysik.....	101
1199 Personal-Management und -Führung.....	103
1423 Methoden in der Produktentwicklung.....	105
1800 Forschungsmethoden.....	108
1801 Innovationsmanagement.....	110

### **Wahlmodule alle - LRT 2017**

1153 Ausgewählte Probleme im militärischen Einsatz von Werk- und Betriebsstoffen.....	112
1154 Einführung in die Klebtechnik.....	114
1161 Fahrzeugdynamik.....	116
1172 Flugbahnoptimierung.....	118
1173 Grundlagen der terrestrischen Kommunikations- und Ortungsverfahren.....	120
1175 Kälte- und Klimatechnik.....	123
1176 Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure.....	125
1191 Maschinendynamik.....	127
1194 Nichtlineare Finite-Elemente-Methode.....	129
1200 Praktische Flugversuchstechnik.....	131
1202 Präzise Orbitbestimmung.....	133
1203 Produkt- und Innovationsmanagement.....	136
1204 Rechenverfahren zur Turbomaschinenauslegung.....	138
1205 Satellitenbetrieb.....	141
1206 Satellitenbetrieb Praxis.....	143
1207 Stochastische Finite-Elemente-Methode.....	145
1208 Stochastische Schwingungen in Theorie und Praxis.....	147
1209 Thermalhaushalt bei Satelliten.....	149
1352 Nichtlineare Regelungstechnik.....	151
1353 Betriebsfestigkeit.....	153
1354 Unkonventionelle Flugzeugkonfiguration.....	155
1355 Praktikum Optimale Steuerung.....	158
1356 Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung.....	160
1390 Mess- und Prüfverfahren für Turbomaschinen und Flugantriebe.....	162
1406 Management of Technology based Firms.....	164
1413 Mensch-Maschine Interaktion ab Jahrgang 2013 ff.....	166
1481 Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme.....	169
1491 Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken.....	171
1492 Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/Thermofluidodynamik....	173
1501 Treibstoffe für raumfahrtrelevante Antriebe.....	175

1515 Einführung in das Risikomanagement.....	177
1516 Fernflugkörper.....	179
1519 Auslandsaufenthalt.....	181
1520 Munich Aerospace.....	182
1805 Nutzerzentriertes Interaktionsdesign.....	183
1806 Kontaktprobleme in der Mechanik.....	186
1807 Statistische Methoden für Ingenieure.....	188
1808 Strömungen auf kleinen Skalen.....	190
3450 Variationsrechnung und Optimale Steuerung.....	193
5000 Mathematische Modellierung.....	195
<b>Masterarbeit - LRT 2017</b>	
1096 Masterarbeit LRT.....	197
<b>Projekt, Apparatives Prak - LRT 2017</b>	
1178 Apparatives Praktikum Antriebstechnik.....	199
1179 Apparatives Praktikum Autonome Systeme.....	201
1180 Apparatives Praktikum Flugführungssysteme.....	204
1181 Apparatives Praktikum Fluiddynamik.....	206
1182 Apparatives Praktikum Leichtbau.....	208
1183 Apparatives Praktikum Luftfahrttechnik.....	210
1184 Apparatives Praktikum Raumfahrttechnik.....	212
1185 Apparatives Praktikum Regelungstechnik.....	214
1186 Apparatives Praktikum Satellitennavigation, Erdbeobachtung.....	216
1187 Apparatives Praktikum Thermodynamik.....	219
1188 Projekt.....	221
1804 Apparatives Praktikum Forschungsmethoden.....	223
<b>Studium+ Master</b>	
1008 studium plus 3 - Seminar und Training.....	225

Modulname	Modulnummer
Antriebskomponenten	1049

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Niehuis	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10491	VL	Antriebskomponenten	Pflicht	2
10492	UE	Antriebskomponenten	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse aus den Modulen "Strömungsmechanik", "Gasdynamik", "Thermodynamik" und "Antriebssysteme".

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden sollen ein vertieftes Verständnis der komplizierten Strömungsvorgänge in Turbomaschinen erwerben und die vielfältigen Auslegungsaspekte kennen lernen.
- Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, mithilfe des vermittelten Grundwissens verschiedene Bauweisen von Turbomaschinen und deren unterschiedlicher Anwendungsbereiche richtig einzuordnen und zu bewerten. Sie werden in die Lage versetzt, einfache Entwürfe und Vorprojektierungen selbst vorzunehmen.
- Die Studierenden erhalten einen Überblick über Turbokomponenten in Flugtriebwerken, aber auch Turbokomponenten für andere Anwendungsbereiche wie zum Beispiel die Energietechnik oder die Verfahrenstechnik.
- Die Studierenden sind in der Lage, das Betriebsverhalten von Turbokomponenten sowie deren Zusammenwirken mit anderen Komponenten bzw. Anlagen zu verstehen. Sie lernen dabei auch verschiedene Möglichkeiten zur Regelung von Turbomaschinen und die Auswirkungen von Betriebseinflüssen kennen.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Antriebskomponenten ein vertieftes Grundlagenwissen über Turbomaschinen für den Einsatz in Luftfahrzeugen und anderen Bereichen wie z.B. der Energietechnik:

- Die Studierenden erhalten eine Einführung in die verschiedenen Arten und Typen von Turbomaschinen sowie deren Anwendungsgebiete.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausgehend von der zweidimensionalen, inkompressiblen und reibungsfreien Gitterströmung und der Beschreibung der Profil- und Gittergeometrie werden Methoden zur Gitterauslegung vermittelt. Darauf aufbauend wird die Betrachtung der reibungsbehafteten Gitterströmung, der transsonischen Gitterströmung sowie das Zusammenwirken von Gittern und Stufen und die dadurch verursachten Strömungsverluste behandelt.</li> <li>• Darauf aufbauend wird auf die dreidimensionale Strömung in Turbomaschinen eingegangen. Ausgehend vom charakteristischen Strömungsbild werden Sekundärströmungsphänomene sowie die dreidimensionalen Schaufelgitterinteraktionen umfassend behandelt.</li> <li>• Die Studierenden werden mit der Auslegungsmethodik für Turbomaschinen vertraut gemacht, und es werden einfache Verfahren für den ersten Entwurf von Turbomaschinen vorgestellt. Darüber hinaus werden einige Auslegungsaspekte im Zusammenhang mit den speziellen strömungstechnischen Anforderungen erläutert und auf die besonderen Festigkeitsfragen für Bauteile in Turbomaschinen eingegangen.</li> <li>• Das Modul schließt mit einer ausführlichen Darstellung der Betriebsbereiche und des Betriebsverhaltens abseits vom Auslegungspunkt, insbesondere bei Verdichtern und dessen Darstellung in Kennfeldern. Nach der Diskussion verschiedener grundsätzlicher Anlagencharakteristiken wird detailliert auf das Zusammenwirken von Turbomaschinen und Anlagen, die Regelung von Turbomaschinen sowie möglicher Betriebseinflüsse eingegangen.</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumpsty N.A.: Compressor Aerodynamics. Krieger Publishing Company, 2004 (engl.).</li> <li>• Fister W.: Fluidenergiemaschinen, Band 1 und 2. Berlin: Verlag Springer, 1984, 1986.</li> <li>• Scholz N.: Aerodynamik der Schaufelgitter. Karlsruhe: Verlag G. Braun, 1965.</li> <li>• Traupel W.: Thermische Turbomaschinen, Band 1 und 2. Berlin: Verlag Springer, 1977, 1982.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für Auswahl und Projektierung von Antriebskomponenten für unterschiedliche Anwendungsbereiche, für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Flugantriebe und Turbomaschinen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master- Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Autonome Systeme</b>	1050

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10501	VÜ	Autonome Systeme	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Notwendig sind gute Kenntnisse in Digitaler Regelungstechnik und Modernen Methoden der Regelungstechnik (vor allem Zustandsraumdarstellung und Zustandsregler). Vorausgesetzt werden ferner die im Modul „Sensortechnik“ vermittelten Kenntnisse sowie die des Moduls „Filter- und Schätzverfahren“. Sinnvoll ist die Kenntnis der im Modul „Prozessrechentchnik“ vermittelten Inhalte.

## Qualifikationsziele

## Die Studierenden

1. wissen aus welchen wesentlichen Elementen ein autonomes System besteht und wie sich dieses von normalen (fern-)gesteuerten oder geregelten Systemen unterscheidet.
2. verstehen die wesentlichen Schwierigkeiten beim Aufbau autonomer Systeme, und
3. können die erlernten Kenntnisse im parallel stattfindenden Praktikum "Autonome Systeme" beim Aufbau eines autonomen Modell-Fahrzeugs anwenden: eine einfache "Fahrbahn" wird über eine ins Fahrzeug eingebaute Kamera ausgewertet. Im Wettbewerb optimieren Studenten-Teams ihre entwickelten Zustandsschätzer und -Regler zur Erzielung optimaler Rundenzeiten.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Autonome Systeme einen detaillierten Einblick in den Aufbau eines autonomen Systems am Beispiel eines sich durch visuelle Information in seiner Umgebung autonom bewegenden Roboter-Fahrzeugs. Was ist der Unterschied zwischen einem geregelten System und einem (teil-)autonomen, kognitiven System? Warum sind Roboter heute noch "blind" und "dumm", was bedeutet Kognition für technische Systeme und was sind die wesentlichen technischen Herausforderungen?

Ausgehend von einem Überblick über die Entwicklung und den derzeitigen Stand autonomer kognitiver Systeme werden die folgenden Themenkreise behandelt:

1. Weltmodelle und Koordinatensysteme. Die Fähigkeit zur Bewegung als Bestandteil kognitiver Systeme. Dynamische Modelle der zugrundeliegenden Bewegungen, Steuergrößen, einfache Bewegungsfähigkeiten.
2. Perzeption: Wahrnehmung der Umgebung durch maschinelles Echtzeit-Sehen. Verfahren zur Extraktion von Merkmalen aus den Bildern einer Videokamera. Wahrnehmung mittels moderner 360° Laserscanner.
3. Dynamische Szenen aufgrund eigener und fremder Bewegungen. Rekursive Zustandschätzer als Grundlage des 4D-Ansatzes zur modellgestützten Interpretation dynamischer Szenen.
4. Wahrnehmung der Strasse und des Relativzustands des eigenen Fahrzeugs relativ zur Strasse. Fahrzeugführung entlang von Strassen. Anwendung Spurverlassens und Spurhalteassistent.
5. Objekterkennung. Aggregation von Merkmalen zu Objekthypothesen. Methoden zur Modellierung von Objekten. Aufstellung von (adaptiven) Formmodellen ruhender Objekte und zusätzlicher Bewegungsmodelle beobachteter, sich bewegnender Objekte der Szene (wie z.B. anderer Fahrzeuge). Anwendung Staufahrassistent.
6. Situationsanalyse und Verhaltensentscheidung. Aggregation von Objekten zu Situationen. Was sind Manöver und Missionen. Generieren situations- und missionsgerechter Verhaltensentscheidungen. Zustandsautomaten zur Verhaltensentscheidung. Überholvorgänge und Abbiegen auf Querstrassen als einfache Ausprägungen Situationsgerechten Verhaltens. Sakkaden zur aktiven Steuerung der Blickrichtung, relevante Objekte.

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

**Verwendbarkeit**

Autonome, kognitive Systeme werden zukünftig immer stärker in unser Leben vordringen. Fahr- und Flugzeuge werden nicht nur im militärischen Bereich um Assistenzsysteme erweitert, die einen zunehmend autonomen Betrieb ermöglichen. Roboter, die ihre Umgebung wahrnehmen und sich in ihr situationsgerecht verhalten, werden nicht nur Soldaten zur Hand gehen, sondern auch in Fabriken sowie im häuslichen Umfeld schwere, monotone, gefährliche oder ermüdende Aufgaben übernehmen.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Betriebsfestigkeit von Strukturwerkstoffen</b>	1051

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Hans-Joachim Gudladt	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
240	84	156	8

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10511	VL	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
10512	SÜ	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
10513	VL	Betriebsfestigkeit	Pflicht	2
10514	UE	Betriebsfestigkeit	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>7</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Es wird das Bachelor-Studium von LRT sowie das Modul statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen vorausgesetzt.

## Qualifikationsziele

Dem Student werden ingenieurwissenschaftliche Inhalte vermittelt, die sich auf das mechanische Verhalten von Werkstoffen beziehen, die im Bereich der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden. Dazu gehören faserverstärkte Kunststoffe (CFK), Metall-Kunststoffverbunde, z.B. Glare, hochfeste Aluminiumwerkstoffe sowie Titan- und Nickelbasislegierungen sowie Keramikverbundwerkstoffe. Das Augenmerk richtet sich dabei primär auf das mechanische Verhalten, auch unter korrosiver Beanspruchung und bei hohen Temperaturen.

Im 2. Teil des Moduls werden die Studierenden befähigt, einfache Bauteile in Bezug auf ihr Schädigungsverhalten zu beurteilen und Lebensdauervorhersagen für betriebsnah beanspruchte Bauteile, die auch vorgeschädigt sein können, zu bestimmen. Die Studenten werden damit in die Lage versetzt, Vorgaben für die Kontrolle und Einsatzbewertung betriebsnaher beanspruchter bauteilnaher Proben durchzuführen. Diese Fertigkeiten sind unabdingbar, um geeignete Sicherheitskonzepte in der Luft- und Raumfahrt und dem Fahrzeugbau umzusetzen.

## Inhalt

Im ersten Abschnitt lernt der Student das mechanische Verhalten von Polymeren und Faserverbundwerkstoffen bevorzugt auf Epoxid-Basis kennen. Darüber hinaus werden dem Studenten die Grundlagen des Schädigungsverhaltens von Verbundwerkstoffen unter schwingender Beanspruchung vermittelt und das korrosionsverhalten von metallischen und polymeren Werkstoffen im Hinblick auf Spannungs- und

Schwingungsrisskorrosion angesprochen. Der Student gewinnt dadurch Einblick in das mechanische Verhalten von Werkstoffen bei hohen Temperaturen, insbesondere im Bereich des Kriechens und der Kriechschädigung.

Im zweiten Abschnitt wird den Studenten eine Übersicht über das spannungsinduzierte Schädigungsverhalten von Strukturwerkstoffen in der Luft- und Raumfahrt vermittelt. Dabei werden sogen. Lastkollektive generiert, die eine betriebsnahe Beanspruchung simulieren, der das Bauteil ausgesetzt ist. Die Lastkollektive werden in Bezug auf ihren Schädigungsgrad quantifiziert. In vielen Fällen wird als Schädigungsgröße der Schwingungsriss im Material charakterisiert. Mit Hilfe geeigneter Detektionsverfahren werden diese Risse im Bauteil erkannt und ihre weitere Entwicklung beobachtet. Geeignete, z. T. lineare Schadensakkumulationsverfahren (z.B. Palmgren/Miner) ermöglichen es, das Schädigungsverhalten rechnerisch zu erfassen und entsprechende Restlebensdauer-Werte bestimmen. Mit Hilfe des „örtlichen Konzeptes“ und unter Verwendung des Spannungsintegral-Konzeptes lassen sich letztendlich Lebensdauervorhersagen für beliebige Bauteilgeometrien durchführen. Die Bewertung beruht auf statistischen Grundlagen, die im Rahmen der Vorlesung unter dem Aspekt der Lebensdauervorhersage vermittelt werden.

#### Literatur

- Hornbogen E.: Metallische Werkstoffe, Springer Verlag, 2002.
- Easterling K.: Tomorrow's Materials. Dorchester, London: The Institute of Metals, the Dorset Press, 1988.
- Ashby M, F., Jones R.H.: International Science and Technology. Vol. 34& 39. Oxford, New York: Peergamon Press.
- Bd. I: An introduction to their properties and application, 1980.
- Bd. II: An introduction of microstructure and design. 1986.
- Courtney T.H.: Mechanical Behaviour of Materials. Series in Materials Science and Engineering. McGraw-Hill, 1990.
- Schwalbe K.-H.: Bruchmechanik metallischer Werkstoffe. Carl Hanser Verlag, 1980.
- Haibach E.: "Betriebsfestigkeit - Verfahren und Daten zur Bauteilbewertung", VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1989
- Buxbaum O.: "Betriebsfestigkeit - Sichere und wirtschaftliche Bemessung schwing-bruchgefährdeter Bauteile", Verlag Stahleisen mbH., Düsseldorf (1988)
- Schwalbe, K-H.: Bruchmechanik metallischer Werkstoffe, Carl Hanser-Verlag München/Wien (1980)

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Das erworbene Wissen befähigt den Studenten zum Verständnis von Strukturmaterialien im Bereich Zelle und Triebwerk in Bezug auf das mechanische Verhalten.

Darüber hinaus ist das erworbene Wissen Voraussetzung für die Bewertung vorgeschädigter Bauteile im Hinblick auf ihre Verwertbarkeit. Es ist damit Voraussetzung für materialwissenschaftliche Untersuchungen und Entwicklungen neuer Werkstoffe auf sämtlichen Gebieten der Luft- und Raumfahrttechnik.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es beginnt im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres.

Modulname	Modulnummer
Chemische Thermodynamik	1052

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Pflicht	1

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10521	VÜ	Chemische Thermodynamik	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Der Besuch der Vorlesung „Grundlagen der chem. Thermodynamik“ (B.Sc.) wird empfohlen.

## Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung der Chemischen Thermodynamik bei technischen Prozessen mit chemischen Umsetzungen hinsichtlich Machbarkeit, effizienter Prozessführung und Ökologie/Ökonomie erkennen.
2. Die Studierenden können für einfache Fälle quantitative Aussagen machen und komplexere abschätzen.
3. Die Studierenden erkennen die Bedeutung realer und idealer Betrachtungsweisen.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Chemische Thermodynamik das Wissen zur Thermodynamik chemischer Reaktionen in unterschiedlicher Zusammensetzung im Wesentlichen bezogen auf Gleichgewichtszustände.

1. Die Studierenden erwerben Wissen über die Behandlung chemischer Umsetzungen sowohl in der Gasphase (homogen) als auch in mehrphasigen Gemischen (heterogen).
2. Ausgehend von einigen Grundlagenbetrachtungen (-& #62; B.Sc. Vorlesung) werden beispielsweise folgende Gebiete behandelt:

- Affinität,
- Unterscheidung realer und idealer Systeme,
- Exergie und
- Mehrphasengleichgewichte.

3. Das erworbene Wissen wird durch die Anwendungen wie Verbrennungsvorgänge vertieft und durch kurze Betrachtungen zur Kinetik erweitert.
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder Mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Dynamik und Regelung von Satelliten</b>	1054

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Roger Förstner	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10541	VL	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	2
10542	UE	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Bachelor- und Master-Modulen der „Höheren Mathematik“, der „Technischen Mechanik“ sowie der „Werkstoffkunde“ vermittelt werden.

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- können die Bedeutung der Dynamik und Lageregelung von Satelliten mit ihren Nutzungsmöglichkeiten zeitgemäß einordnen.
- haben ein Verständnis der Lagekinematik und -dynamik von Satelliten
- kennen die verschiedenen Lageregelungskonzepte für Satelliten sowie deren Besonderheiten und Einsatzbereiche.

Inhalt

In dieser Vorlesung wird das Gebiet der Dynamik und Regelung von Satelliten am Beispiel der gebräuchlichsten Methoden der Lageregelung (Spinstabilisierung, Gravitationsgradienten- und Dreiachsenstabilisierung) vertieft. Drehbewegungen und kinematische Zusammenhänge werden mit Hilfe von Richtungskosinusmatrix, Eulerwinkel-Drehmatrix und Quaternionen mathematisch dargestellt. Die Darstellung in verschiedenen gegeneinander bewegten Referenzsystemen wird abgehandelt, um die Ausrichtung von Satelliten in Umlaufbahnen beschreiben zu können. Mit Hilfe der Eulergleichung werden dann die dynamischen Gesetze von Drehbewegungen abgeleitet, Stabilitätsuntersuchungen werden durchgeführt und die Auswirkungen von Störmomenten, wie sie im erdnahen und geostationären Orbit wirken, werden analysiert. Die Funktionsweise von Aktuatoren wie Drallräder, Reaktionsräder, Elektromagneten und Kaltgassysteme in Regelkreisen werden behandelt.  
Gliederung der Vorlesung:

<ul style="list-style-type: none"><li>• Einführung</li><li>• Lagekinematik</li><li>• Lagedynamik</li><li>• Kreiseldynamik</li><li>• Spin-Stabilisierung</li><li>• Gravitationsgradienten-Stabilisierung</li><li>• Dreiachsen-Stabilisierung</li><li>• Lagemanöver</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Steiner, Schagerl: Raumflugmechanik</li><li>• Hughes P.C.: Spacecraft Attitude and Dynamics</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten <ul style="list-style-type: none"><li>• 30 Minuten Frageteil: keine Hilfsmittel</li><li>• 60 Minuten Aufgabenteil: Skript, Formelsammlung, Taschenrechner</li></ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen, angewandte Forschung sowie Projektmanagement auf dem Gebiet der Raumfahrt.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Erdbeobachtung</b>	1055

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Bernd Eissfeller	Wahlpflicht	8

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10552	VL	Interferometrische SAR-Methoden	Pflicht	1
10553	UE	Interferometrische SAR-Methoden	Pflicht	1
10554	VL	Radar- und Lasermethoden	Pflicht	2
11471	VÜ	Optische Fernerkundung	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik, Experimentalphysik, Messtechnik, Programmierkenntnisse.

## Qualifikationsziele

- Die Absolventen besitzen grundlegende Kenntnisse über die Erdbeobachtung bzw. über moderne Fernerkundungsverfahren und -sensoren inkl. der synthetischen abbildenden Radarsysteme (SAR).
- Sie kennen die Systemtechniken und die wesentlichen Auswerteverfahren unter Anwendung der digitalen Datenverarbeitung.
- Ihnen sind die vielfältigen Anwendungen wie auch der militärischen Nutzung dieser Technologien (bspw. hyperspektrale Zielpunktidentifikation, militärische Radarfernerkundung) bekannt.
- Sie haben einen Einblick in die innovativen Verfahren der Phasenauswertung bei SAR mit ihren Möglichkeiten zur Ableitung digitaler Höhenmodelle aus Bildpaaren und zur Detektion von Oberflächenänderungen (Deformationsanalyse) mit Hilfe von Bild-Stapeln (Stacks) erhalten. Damit verstehen sie die Voraussetzungen, die notwendigen Planungsschritte und die gesamte Auswertekette, die zur Ableitung hochwertiger Geo-Endprodukte notwendig sind.
- Die Studierenden erhalten in der Vorlesung und Übung Optische Fernerkundung eine Übersicht über Sensoren und Techniken der optischen Fernerkundung. Ein Schwerpunkt liegt im Bereich der photogrammetrischen zwei- (2D) und dreidimensionale (3D) Erfassung von Objekten für Geoinformationssysteme (GIS), wie z.B. Straßen, Gebäude, Vegetation, aus Luftbildern. Es wird ein Überblick über verfügbare Sensorsystem für Flugzeuge und auf Satelliten gegeben. Es wird aufgezeigt, wie mittels überwachter oder unüberwachter Klassifikation die spektrale Bildinformation genutzt werden kann, um Objektarten, wie z.B. Wald,

Wiese oder Siedlung, zu unterscheiden. Für alle Sensoren und Techniken wird die praktische Anwendbarkeit herausgehoben.

## Inhalt

### **Optische Fernerkundung**

(Prof.Dr. Helmut Mayer, Fakultät für Informatik)

Die Vorlesung Optische Fernerkundung legt zuerst Grundlagen der Bilderzeugung insbesondere in Bezug auf die Blickrichtungsabhängigkeit der Rückstrahlung. Dies führt zu optischen Sensoren auf Flugzeugen

und Satelliten im sichtbaren und im infraroten Bereich sowie zu Hyperspektralsensoren. Vor allem Erstere sind die Grundlage für die photogrammetrische Stereoauswertung, für die Eigenschaften und Produkte beschrieben werden, sowie für die geometrische Bildverzerrung (Orthophotogenerierung). Für die Auswertung der spektralen Information der Sensoren werden Techniken der überwachten und unüberwachten Klassifikation, wie z.B. Maximum Likelihood, Support Vector Machines (SVM) und Clusteranalyse vorgestellt. Als weitere Datenquelle für GIS werden sowohl luft- als auch bodengestützte Laserscanner eingeführt und es werden Orientierung, Systeme und Anwendungen präsentiert.

### **Radar- und Lasermethoden**

(Honorarprofessor Dr. Helmut Süß, DLR, Oberpfaffenhofen)

- Einleitung und allgemeiner Überblick
- Maxwellsche Gleichungen / Elektromagnetische Wellen an Grenzflächen
- Streuung elektromag. Wellen an künstlichen und natürlichen Objekten
- Radartechnik
- SAR-Prinzip
- SAR-Systeme
- SAR - Interferometrie (Überblick/Einführung)
- Lasermethoden

**Interferometrische SAR-Methoden**

(Honorarprofessor Dr. Helmut Süß, DLR, Oberpfaffenhofen)

- InSAR: Interferometrisches SAR (Generierung digitaler Höhenmodelle)
- Verwendung optischer Daten zur Höhenmodellierung (Exkurs)
- DInSAR: Differentielles interferometrisches SAR (Deformationsdetektion)
- PSInSAR/IPTA: Persistent Scatterer Methoden

**Literatur**

- Albertz J.: Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2001. (Standardlehrbuch für die Veranstaltung "Einführung in die Erdbeobachtung").
- Lillesand T.M., Kiefer R.W.: Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons Inc, 2008. (wichtige Ergänzung für die Veranstaltung "Einführung in die Erdbeobachtung?").
- Efford N.: Digital Image Processing. Addison-Wesley, 2000. (Ergänzungen für die Veranstaltung "Einführung in die Erdbeobachtung").
- CEOS - Committee on Earth Observation Satellites: The Earth Observation Handbook. ESA Special Publication SP-1315. June, 2008. (Online-Version: <http://www.eohandbook.com>).
- Borengasser M., Hungate W.S., Watkins R.: Hyperspectral Remote Sensing. Principles and Applications. CRC Press, 2007.
- Kalacska M.; Sanchez-Azofeifa G.A. (editors): Hyperspectral Remote Sensing of Tropical and Sub-Tropical Forests. CRC Press, 2008.
- Massonet D.; Souyris J.-C.: Imaging with Synthetic Aperture Radar. 1. Auflage, EPFL Press, 2008. (Lehrbuch für die Veranstaltungen "Radar- und Lasermethoden" sowie "Interferometrische SAR-Methoden?").
- Ferretti A., Monti-Guarnieri A., Prat, C., Rocca F. Massonet D.: InSAR Principles-Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation. ESA technical publication TM-19, February, 2007. (Standardlehrbuch für die Veranstaltung "Interferometrische SAR-Methoden").

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

**Verwendbarkeit**

Erweiterung des Grundwissens auf den Gebieten optische, multispektrale, hyperspektrale sowie Radar-Fernerkundung und anderer Erdbeobachtungsverfahren. Verständnis der Auswerteprozesse und Anwendungen bei der militärischen und zivilen Nutzung der Fernerkundung. Erarbeitung von Spezialwissen auf dem Gebiet der interferometrischen SAR-Verfahren bspw. zur Ableitung von digitalen Höhenmodellen als wesentliche zivile und militärische Planungs- und Kartengrundlage.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres.

Modulname	Modulnummer
<b>Filter- u Schätzverfahren</b>	1056

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche	Wahlpflicht	0

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10561	VL	Filter- und Schätzverfahren	Pflicht	2
10562	UE	Filter- und Schätzverfahren	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Notwendig sind gute Kenntnisse der in den Modulen „Digitale Regelung“ und „Moderne Methoden der Regelungstechnik“ vermittelten Kenntnisse (vor allem zeitdiskrete Zustandsraumdarstellung), sowie Grundkenntnisse in Stochastik und höherer Mathematik.

Qualifikationsziele
<p>Die Studierenden</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. kennen die wesentlichen Verfahren zur Filterung verrauschter Messdaten und zur Schätzung unbekannter Zustandsgrößen aus solchen Daten.</li> <li>2. verstehen die wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren und kennen ihre Vor- und Nachteile</li> <li>3. können die erlernten Kenntnisse im darauf folgenden Praktikum „Autonome Systeme“ beim Aufbau eines autonomen Modell-Fahrzeugs anwenden. Dabei wird eine einfache „Fahrbahn“ über eine ins Fahrzeug eingebaute Kamera erfasst, woraus über die erlernten Schätzverfahren der Bewegungszustand des Fahrzeugs geschätzt wird. Im Wettbewerb optimieren Studenten-Teams diese Zustandsschätzer und dazu entwickelte Zustandsregler zur Erzielung optimaler Rundenzeiten.</li> </ol>

Inhalt
Die Studierenden erwerben im Modul Filter- und Schätzverfahren einen detaillierten Einblick in Methoden zur optimalen Schätzung von nicht direkt oder nur schlecht messbaren Zustandsgrößen aus verrauschten Messgrößen.

Ausgehend von einer Wiederholung von Grundlagen der Stochastik werden Verfahren zur Filterung verrauschter Messdaten und zur Schätzung nicht messbarer Zustandsgrößen aus verrauschten Messdaten vorgestellt.

Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt:

1. Einführung: Wiederholung zur Darstellung linearer, zeitdiskreter Systeme im Zustandsraum und zur Beobachtbarkeit. Auffrischung von Grundlagen der Stochastik und der Fehlermodellierung. Wahl von Koordinatensystemen.
2. Lineare Schätzer: Lineare Ausgleichsrechnung (mehr Gleichungen als Unbekannte) und lineare, gewichtete Ausgleichsrechnung. Hieraus Ableitung des Gauss-Markov-Schätzers sowie des rekursiven Gauss-Markov-Schätzers.
3. Wiederholung des Luenberger Beobachters im Zustandsraum
4. Kalman-Filter: Ausgehend vom regulären, diskreten Kalman Filter werden das erweiterte Kalman Filter sowie das stabilisierte Kalman Filter behandelt. Filter-Tuning, Genauigkeit, Vergleich mit dem Beobachter. Sequentielle Innovation.
5. Einführung in die Square Root Filter. Der UD-faktorierte Kalman Filter.
6. Unscented Kalman Filter.
7. Partikel filter
8. Spezielle Themen der Filter- und Schätztheorie:
  - Verarbeitung von Messwerten aus unterschiedlichen Zeitpunkten.
  - Zuordnung realer Messwerte zu vorhergesagten Messwerten (welcher Messwert gehört zu welchem Objekt?).
  - Datenfusion

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Sehr viele ingenieurtechnische Aufgaben erfordern die Rekonstruktion oder Filterung von Daten aus verrauschten Sensordaten oder Messwerten. Anwendungen reichen von der Schätzung der Trajektorie von Flugkörpern oder der Bahn von Satelliten oder anderer Fahrzeuge bis zur Bestimmung der eigenen Lage z.B. über GPS Laufzeitmessungen. Darüberhinaus sind viele regelungstechnische Aufgaben erst nach Beobachtung oder Schätzung nicht direkt messbarer Zustandsgrößen lösbar, z.B. nach Schätzung der Position des eigenen Fahrzeugs oder Flugzeugs im 3D-Raum aus den 2D-Bildern einer on-board Kamera oder eines Laserscanners.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Finite Elemente	1057

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Alexander Lion	Pflicht	9

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10571	VL	Finite Elemente	Pflicht	2
10572	UE	Finite Elemente	Pflicht	1
10573	P	Finite Elemente	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

„Mechanik“ oder „Technische Mechanik I und II“. Sinnvoll sind auch die Module Technische Mechanik III und Höhere Technische Mechanik.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden erlernen die Grundbegriffe und theoretischen Hintergründe der linearen FEM sowie ihre Abgrenzung zu anderen numerischen Verfahren.
- Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, einfache linear elastische Strukturen mit der Finiten Elemente Methode eigenständig zu berechnen.
- Erlernen der Grundlagen in der Bedienung eines kommerziellen Finiten Elemente Programms.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Finite Elemente das Grundwissen zur numerischen Berechnung von einfachen mechanisch beanspruchten linear elastischen Strukturen. Ferner werden die Grundlagen bereitgestellt, sich in kommerzielle Finite Elemente Programme einzuarbeiten.

- Übersicht über numerische Näherungsverfahren (z.B. Differenzen-, Galerkin- und Ritzverfahren), Historische Einordnung der Finiten Elemente Methode.
- Mathematische Grundlagen, Einführung in die Variationsrechnung, Prinzip der virtuellen Arbeit.
- Herleitung einfacher Elementformulierungen am Beispiel von Stäben, Balken und Scheiben.
- Anwendung der Methode auf komplexere Strukturen aus mehreren Elementen wie z.B. Fachwerken, Berechnung von Eigenmoden und -frequenzen mit der FE Methode, weiterführende Elementformulierungen.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Numerische Aspekte bei der Finiten Elemente Methode, Partitionierung und Konditionierung von Matrizen.</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Betten: Finite Elemente für Ingenieure 1 und 2, Springer Verlag</li><li>• Knothe, Wessels: Finite Elemente, Springer Verlag</li><li>• Link: Finite Elemente in der Statik und Dynamik, Teubner Verlag</li><li>• Müller, Groth: FEM für Praktiker Band 1, Expert Verlag</li><li>• Bathe: Finite Elemente Methoden, Springer Verlag</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für wissenschaftliche Untersuchungen sowie für angewandte Forschung und Entwicklung auf sämtlichen Gebieten der Luft- und Raumfahrttechnik. Das Modul Finite Elemente bildet die Grundlage für weiterführende Lehrveranstaltungen des Masterstudiums.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Flugführungssysteme</b>	1058

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
210	60	150	7

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10581	VL	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	3
10582	VL	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

- Allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen
- Grundkenntnisse in Aerodynamik Grundkenntnisse in Flugmechanik (stationäre Flugzustände, statische Stabilität)
- Kenntnisse in Systemanalyse und Regelkreissynthese

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden verstehen die Aufgaben der Flugdynamik und Flugregelung und können das Wissensgebiet in den Kontext der luftfahrttechnischen Disziplinen einordnen.
- Die Studierenden sollen die physikalischen Ursachen der auf das Flugzeug wirkenden Kräfte und vor allem Momente in der Längs- und Seitenbewegung kennen und diese in systematischer Weise anhand der Derivativschreibweise identifizieren können.
- Die Studierenden sollen die Bewegungsdifferentialgleichungen des Flugzeugs verstehen und deren Linearisierung um einen Bezugsflugzustand nachvollziehen können.
- Die Studierenden sollen die typischen Eigenbewegungsformen eines konventionellen Flächenflugzeugs kennen und daran die dynamischen Stabilitätsbedingungen diskutieren können.
- Die Studierenden sollen die Anwendung regelungstechnischer Methoden auf die Differentialgleichungen der Flugzeugbewegung nachvollziehen können und anhand der Resultate das dynamische Übertragungsverhalten des Flugzeugs diskutieren können.
- Die Studierenden sollen die wichtigsten Dämpfungs- und Regelkreise der Flugregelung mit Frequenzbereichsmethoden (Wurzelortskurvenverfahren) diskutieren können und anhand dessen die Eignung und die Eigenschaften bestimmter Rückführungen diskutieren können.
- Die Studierenden verstehen systemdynamischen Wirkungsschleifen der Flugführung und deren hierarchische Struktur.

- Die Studierenden können die wesentlichen Flugführungssysteme in ihrer Funktion in dieses Wirkgefüge einordnen und verstehen die Gesamtfunktion im Hinblick auf die Ziele Missionserfüllung und Prozessoptimierung.
- Die Studierenden kennen die wichtigsten klassischen und modernen Flugführungssysteme zur Flugzustandsmessung, Navigation, Überwachung, Bedienung und Anzeige, Flugregelung und Flugmanagement und verstehen ihre Wirkungsweise, Funktion und ihren prinzipiellen Aufbau sowie die wichtigsten Fehlereffekte.
- Die Studierenden können die wichtigsten für die Flugplanung und das Flugmanagement notwendigen Navigationsberechnungen auf dem Großkreis durchführen.
- Die Studierenden kennen die wichtigsten Radaranwendungen in der Luftfahrt.
- Die Studierenden erkennen die Bedeutung des Menschen (Piloten) im Wirkgefüge der Flugführung und im Hinblick auf die Auslegung von automatisierten Flugführungsfunktionen.

### Inhalt

Das Modul „Flugführungssysteme“ setzt sich aus zwei Lehrveranstaltungen zusammen. Diese sind „Flugdynamik & Flugregelung“ und „Flugführung & Navigation“.

#### *Lehrveranstaltung „Flugdynamik & Flugregelung (FDFR)“:*

Die Studierenden erwerben in der Lehrveranstaltung „Flugdynamik & Flugregelung“ das luftfahrttechnische Wissen zur Beschreibung und Analyse des dynamischen Verhaltens aerodynamisch getragener, konventioneller Flächenflugzeuge, sowie dessen Modifikation durch Flugregelsysteme einschließlich grundlegender Autopilotfunktionen. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Ziele und Aufgaben der Flugdynamik und Flugregelung, die Einordnung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik und die Bedeutung in den Wirkungsschleifen der Flugführung.
- Die Studierenden werden mit den in der Flugzeuglängsbewegung wirkenden Kräften und Momenten vertraut gemacht. Dabei werden aus den verschiedenen Flugzuständen resultierenden Einflüsse untersucht und in der Schreibweise der aerodynamischen Derivative dargestellt. Dabei werden im Einzelnen die folgenden Aspekte behandelt:
  - o Anstellwinkel- und Höhenrudereinfluss auf das Nickmoment
  - o Nickdämpfung und Manöverpunkt
  - o Weitere Derivative des Nickmoments, des Auftriebs und des Widerstands
- Die Studierenden werden mit den in der Flugzeugseitenbewegung wirkenden Kräften und Momenten vertraut gemacht. Dabei werden die aus den verschiedenen Flugzuständen (z.B. Schieben, Gieren, Rollen) resultierenden Einflüsse von Flügel, Leitwerken und Rumpf untersucht und in der Schreibweise

der aerodynamischen Derivative dargestellt. Dabei werden im Einzelnen die Folgenden Aspekte behandelt:

- o Windfahnenstabilität und weitere Derivative der Gierbewegung (z.B. Gierdämpfung, Giersteuerung, Seitenkraft)
  - o Derivative der Rollbewegung (z.B. Rolldämpfung, Rollsteuerung)
  - o Kopplungsmomente (z.B. Schiebe-Rollmoment, Roll-Giermoment)
- 
- Die Studierenden erhalten einen detaillierten Einblick in die Herleitung der nichtlinearen Bewegungsdifferentialgleichungen der Flugzeuglängsbewegung ausgehend von den Newtonschen Gesetzen. Sie werden mit dem Konzept der Linearisierung vertraut gemacht, welches am Beispiel des horizontalen unbeschleunigten Geradeausflugs dargestellt wird. Analog wird die Flugzeugseitenbewegung behandelt.
  - Die Studierenden lernen die Anwendung regelungstechnischer Konzepte (z.B. Zustandsraumdarstellung, Analyse der Eigenwerte, dynamische Stabilität) auf die linearen Bewegungsdifferentialgleichungen und analysieren auf diese Weise die typischen Eigenbewegungsformen des konventionellen Flächenflugzeugs (Anstellwinkelschwingung, Phyoide, Taumelschwingung, Rollbewegung und Spiralsturz) im Hinblick auf Stabilität, Eigenfrequenz und Dämpfung.
  - Die Studierenden lernen den Übergang der Derivativschreibweise auf die in der Flugregelung üblichen Ersatzgrößen kennen und werden auf Basis der Zustandsraumdarstellung der Bewegungsgleichungen und deren Lösung mittels der Laplace-Transformation mit der Berechnung von Einzelübertragungsfunktionen der Längs- und Seitenbewegung des Flugzeugs vertraut gemacht.
  - Anhand der Pol-/Nullstellenkonfiguration entsprechender Übertragungsfunktionen lernen die Studierenden die Reaktionen des Flugzeugs auf bestimmte Steuereingaben kennen (z.B. Allpassverhalten).
  - Die Studierenden lernen die wichtigsten automatischen Steuerungsarten, wie Vorgaberegung („Fly-by-wire“) und Autopilot kennen.
  - Die Studierenden lernen die wichtigsten Eingrößen-Rückführungen in der Flugzeuglängs- und -seitenbewegung kennen und diskutieren diese anhand der Wurzelortskurvenmethode in der komplexen Zahlenebene. In diesem Zusammenhang sind z.B. der Nick- und Gierdämpfer, der Nicklagereger und ggf. auch der Höhenregler auf Basis sequenzieller Kreisschließung zu nennen.

*Lehrveranstaltung „Flugführung & Navigation (FFN)“:*

Die Studierenden erwerben in der Lehrveranstaltung „Flugführung & Navigation“ das luftfahrttechnische Wissen über die wichtigsten klassischen und modernen Flugführungssysteme und deren Zusammenwirken auf Systemebene. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden erhalten einen Überblick über den Systembegriff der „Flugführung“ und die Einordnung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik.</li> <li>• Die Studierenden lernen das Wirkgefüge der verschiedenen Flugführungssysteme, d.h. die Wirkungsschleifen der Flugführung kennen. Hierbei werden verschiedene Varianten wie z.B. der Aspekt der Flugführung von UAV („Uninhabited Aerial Vehicles“) diskutiert. Die betrachteten Systeme sind Flugregelungs- und Flugmanagementsysteme, die dazu gehörigen Flugzustands- und Navigationssensoren bzw. -systeme, Warnsysteme sowie Bedien- und Anzeigesysteme.</li> <li>• Die Studierenden werden mit den Grundbegriffen der Navigation, insbesondere der Luftfahrtnavigation vertraut gemacht. Hierzu zählen die Kenntnis des Navigationsraums der Luftfahrt, der sphärischen Trigonometrie zur Kurs- und Entfernungsberechnung auf dem Großkreis sowie Grundlagen der Kartografie.</li> <li>• Die Studenten werden mit den ersten Grundbegriffen des Luftverkehrsmanagements und der Luftraumstruktur vertraut gemacht.</li> <li>• Die Studierenden lernen die wichtigsten klassischen Flugzustandssensoren kennen. In diesem Zusammenhang werden Luftdatensensoren (Höhenmesser, Fahrtmesser, Variometer) und Kreiselgeräte (Horizontkreisel, Kurskreisel, Wendezeiger, Laserkreisel) hinsichtlich der physikalischen Grundlagen und Wirkprinzipien erläutert.</li> <li>• Die Studierenden werden in die Grundlagen der wichtigsten Navigationssensoren bzw. -systeme eingeführt. In diesem Zusammenhang werden die Prinzipien der Funknavigation, Trägheitsnavigation und Satellitennavigation erläutert.</li> <li>• Die Studierenden lernen die Grundbegriffe der Anwendung der Radartechnik in der Luftfahrt kennen. Hierbei werden die Primärradarsysteme Strecken-, Flughafen-, Anflug-, Rollfeld- und Wetterradar sowie Sekundärradar adressiert.</li> <li>• Die Studierenden lernen die wichtigsten modernen Warnsysteme der Luftfahrt kennen. Hierbei werden die Wirkprinzipien des ACAS / TCAS („Airborne/Traffic Collision Avoidance System“) und des E-GPWS / TAWS („Enhanced Ground Proximity Warning System“ / „Terrain Awareness &amp; Warning System“) diskutiert.</li> <li>• Die Studierenden lernen die wesentlichen Funktionen eines FMS („Flight Management System“) kennen.</li> <li>• Die Studierenden erhalten einen ersten Einblick in Fragestellungen des Zusammenwirkens zwischen dem Menschen (Piloten), dem Flugzeug und den automatisierten Flugführungssystemen.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 120 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>In diesem Studiengang:                  Voraussetzung für das Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“                  Voraussetzung für das Modul „Flugführung &amp; Automation“                  Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Flugführungssysteme“</p>

### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt mit „Flugdynamik & Flugregelung“ im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahrs, „Flugführung & Navigation“ findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	1059

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10591	P	Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

**Empfohlene Voraussetzungen**

- Allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen
- Kenntnisse in Flugdynamik & Flugregelung
- Kenntnisse in Systemanalyse und Regelkreissynthese
- Grundkenntnisse in numerischer Mathematik
- Programmierkenntnisse in Matlab/Simulink

**Qualifikationsziele**

- Die Studierenden können Theoriewissen zu Flugdynamik und Flugregelung in ein Software-System zur Simulation der Flugdynamik eines Flugzeugs umsetzen und vertiefen.
- Die Studierenden können eine Trimmrechnung durchführen und die Parameter eines linearen Systemmodells berechnen.
- Die Studierenden können die Zustandsgleichungen (linear und nicht-linear) für die Flugzeuggewegung unter Nutzung von Matlab/Simulink implementieren und numerisch lösen.
- Die Studierenden lernen die wichtigsten Flugregelungsfunktionen und deren rechnerische Realisierung sowie die dazu notwendigen Methoden und deren Anwendung kennen.
- Die Studierenden erfahren in der Praxis die Auswirkungen der Modifikation von Flugeigenschaften, sowohl durch Veränderungen der Aerodynamik als auch durch Maßnahmen der Flugregelung.
- Die Studierenden verstehen in der Praxis die Grenzen einer Reglerauslegung am linearen Modell und erkennen die Notwendigkeit von Maßnahmen wie „Gain-Scheduling“.

**Inhalt**

Die Studierenden erwerben im Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“ Fertigkeiten zur Simulation des dynamischen Verhaltens aerodynamisch getragener, konventioneller Flächenflugzeuge einschließlich der Modifikation durch Flugregelsysteme auf dem Digitalrechner. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden erarbeiten angeleitet den modularen Aufriss eines Softwaresystems zur Simulation des dynamischen Verhaltens eines Flugzeugs. Dazu zählen Komponenten wie die Umgebungssimulation (Atmosphäre), die Flugzeugdynamik, das Flugregelungssystem, die Flugführungsanzeige, die Ansteuerung durch Cockpitbedienelemente und die Simulationssteuerung.
- Die Studierenden führen anhand von Modelldaten folgende Berechnungen unter Nutzung von Matlab durch: Bezugsflugzustand/Trimmrechnung, Ersatzgrößen/lineares Zustandsraummodell.
- Die Studierenden entwickeln und testen eine Software zur Flugsimulation auf der Basis des in der Lehrveranstaltung „Flugdynamik & Flugregelung“ erworbenen Theoriewissens mit dem Schwerpunkt auf der Längsbewegung des Flugzeugs. Hierbei soll ein nicht-lineares sowie ein lineares Modell zu Grunde gelegt werden. Die Softwareentwicklung soll in Matlab/Simulink erfolgen.
- Die Studierenden legen verschiedene Dämpfungs- und Regelungsfunktionen (z.B. Nickdämpfer, Nickratenregler, Nicklageregler, C\*-Regelung, Bahnregler, Höhenregler, einfache Autopilotenfunktionen) aus. Bei der Reglerauslegung kommen verschiedene regelungstechnische Methoden (z.B. Wurzelortskurvenverfahren, Zustandsraumverfahren) sowie Reglertypen zum Einsatz (z.B. Proportionalregler, Kompensationsfilter, Gain-Scheduling).
- Die Studierenden integrieren die entwickelten Module einschließlich der Regler in der Flugsimulationsumgebung (linear und nicht-linear) zu einem funktionstüchtigen Gesamtsystem zur Flugsimulation und testen diese für mehrere Bezugsflugzustände.
- Die Studierenden experimentieren mit dem Simulator im Hinblick auf die Untersuchung unterschiedlicher Flugeigenschaften. Dazu sollen Peripheriegeräte angeschlossen werden, die eine virtuelle Echtzeitsimulation ermöglichen.

#### Leistungsnachweis

Benoteter Schein

#### Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:

- Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Flugführung und Automation</b>	1060

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10601	VÜ	Flugführung und Automation	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen  
Kenntnisse in Flugführung & Navigation

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden verstehen die Notwendigkeit der Einbeziehung des Menschen in die Entwicklung komplexer Systeme.
- Die Studierenden kennen die Grundansätze der anthropotechnischen Herangehensweise an das Erstellen von Anforderungen an Automation.
- Die Studierenden kennen in Grundzügen Modelle menschlicher Informationsverarbeitung unter besonderer Berücksichtigung menschlicher Leistungsgrenzen. Die Studierenden verstehen die Anwendung dieser Modelle bei der Analyse menschlichen Fehlverhaltens insbesondere in der Flugführung.
- Die Studierenden akzeptieren moderne Möglichkeiten zur fortschrittlichen Gestaltung von komplexen, automatisierten Systemen und deren Zusammenwirken mit dem menschlichen Operateur.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul „Flugführung & Automation“ einen forschungsnahen Einblick in Fragestellungen des Zusammenwirkens von menschlichen Operateuren (Piloten) mit komplexer Automation im Umfeld der luftfahrttechnischen Anwendung, sowie in die menschengerechte Auslegung entsprechender Automationsfunktionen im Sinne einer Optimierung des Gesamtsystems. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden werden mit der Herangehensweise der Anthropotechnik vertraut gemacht und für die Notwendigkeit derartiger Ansätze im Zusammenhang mit der Entwicklung und Einführung komplexer Automation sensibilisiert.
- Die Studierenden lernen systematische Betrachtungsweisen des Elements Automation in Mensch-Maschine-Systemen kennen und erwerben Kenntnisse

<p>zur Analyse des Zusammenwirkens von Mensch und Automation. Hierbei kommt insbesondere das Konzept des Arbeitssystems zur Anwendung.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden werden mit der Anwendung dieser Ansätze auf Automation im Flugzeugcockpit vertraut gemacht und lernen herkömmliche Flugführungssysteme in diesen Kontext einzuordnen. Sie lernen Klassifizierungsschemata der Cockpit-Automation kennen.</li> <li>• Die Studierenden lernen konventionelle Ansätze zur Gestaltung der Aufgabenteilung zwischen Mensch und Automation kennen, wie z.B. left-over-Prinzip, MABA-MABA, Levels-of-automation und erwerben sich Kompetenz in der kritischen Beurteilung dieser Ansätze.</li> <li>• Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Grundlagen der kognitiven Psychologie. Dazu zählt ein Abriss über Themen wie z.B. Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Denken und Problemlösen. Ferner lernen die Studenten moderne kognitionspsychologische Konzepte wie Beanspruchung und Situationsbewusstsein kennen und wie diese zur Beurteilung der Mensch-Maschine-Interaktion herangezogen werden.</li> <li>• Die Studierenden lernen anhand des Modells von Rasmussen menschliches Verhalten in der Fahrzeug- und Prozessführung einzuordnen. Dazu werden die Verhaltensebenen im Detail diskutiert und in den Anwendungskontext der Flugzeugführung übertragen. Auf dieser Basis lernen die Studierenden Modelle menschlichen Fehlverhaltens kennen.</li> <li>• Ausgehend von dieser Theorie werden Flugunfälle analysiert, welche auf menschliche Fehlleistungen im Zusammenhang mit komplexer Cockpit-Automation zurückzuführen sind, und es werden systematische Schlussfolgerungen abgeleitet.</li> <li>• Die Studierenden werden mit dem Ansatz der kognitiven und kooperativen Automation und dem Begriff der wissensbasierten Assistenzsysteme vertraut gemacht.</li> <li>• Die Studierenden lernen Modellierungsansätze intelligenten Verhaltens im Rechner im Überblick kennen. Hierzu zählen Methoden der klassischen KI und des Konnektionismus, sowie moderne kognitive Architekturen (wie z.B. Soar).</li> <li>• Die Studierenden erhalten einen Einblick in aktuelle Forschungsarbeiten auf dem Feld der kognitiven Systeme und Pilotenassistenzsysteme.</li> <li>• Die Studierenden erarbeiten selbständig unter Anleitung ein Spezialthema durch Literaturstudium aus dem thematischen Umfeld der Lehrveranstaltung. Es ist eine Präsentation der Resultate im Stil einer seminaristischen Vortragsreihe vorgesehen.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Benoteter Schein</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Präsentation im Rahmen des Seminars</li> <li>• Mündliche Wissensabfrage</li> </ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>In diesem Studiengang:</p>

Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik I	1061

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Pflicht	0

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10611	VL	Flugsystemtechnik I	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Luftfahrtsysteme

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der/die Studierende hat vertiefte Kenntnisse der einzelnen Baugruppen und Subsysteme eines Luftfahrzeuges.</li> <li>2. Der/die Studierende kennt Aufgaben und Leistungsgrenzen der grundlegenden Luftfahrzeugsysteme und kann unterschiedliche technische Varianten vergleichen.</li> <li>3. Der/die Studierende ist in der Lage, Auswirkungen des Ausfalls bzw. der Fehlfunktion bestimmter Subsysteme und Komponenten hinsichtlich ihrer Relevanz für die Missionserfolg und insbesondere Flugsicherheit zu beurteilen.</li> <li>4. Der/die Studierende kennt die Anforderungen und den Ablauf eines Safety Assessments in der Luftfahrt und kann die wesentlichen, dazu notwendigen Methoden anwenden.</li> </ol>

Inhalt
<p>Nachdem im Bachelor-Modul „Luftfahrtsysteme“ das Gesamtsystem „Luftfahrt“ bestehend aus Luftfahrzeug, Betreiber, Nutzer und Öffentlichkeit skizziert und Luftfahrzeuge in ihren konfigurativen Merkmalen und wesentlichen, den Phänotyp bestimmenden Baugruppen beschrieben wurden, wird im Modul „Luftfahrtsysteme I“ detaillierter auf einzelne Teilsysteme eines Luftfahrzeuges eingegangen. Die Betrachtung erfolgt dabei sowohl von funktionaler als auch systemtechnischer Sicht. Die dabei vorgenommenen Betrachtungen gelten dabei sowohl für Flächenflugzeuge als auch Drehflügler. Der erste Teil der Lehrveranstaltung befasst sich zunächst mit den Subsystemen, deren Aufgabe die Bereitstellung, Umformung und Weiterleitung verschiedener Energieformen ist. Dazu wird zunächst auf das</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antriebssystem</li> </ul>

und darauf auch die sogenannten Grundsysteme

- Hydraulik,
- Elektrik,
- Pneumatik und
- Kraftstoff

eingegangen. Anschließend wird das, darauf aufbauende

- Flugsteuerungssystem

behandelt.

Der zweite Teil der Lehrveranstaltung befasst sich dann mit dem generellen Design und der Analyse sogenannter Sicherheitskritischer Systeme. Um die Bedeutung und spezifischen Anforderungen im Luftfahrtbereich in dieser Hinsicht zu verstehen, wird zudem auf die grundlegenden luftfahrttechnischen Regularien und Definitionen sowie auf die Durchführung einer systematischen Sicherheitsbeurteilung in den einzelnen Phasen des System-Entwurfs von Luftfahrzeugen eingegangen. Als Einstieg in die Thematik erfolgt einleitend die Definition und Abgrenzung wichtiger Begriffe wie Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Grundlegend für die weiteren Betrachtungen wird anschließend auf das Ausfallverhalten von Bauteilen, deren Ausfallwahrscheinlichkeiten, Ausfallraten und die mathematische Beschreibung mittels Weibull-Verteilungen eingegangen. Im Weiteren werden Designansätze zur Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit, wie

- Redundanz und
- Diversität

vorgelegt sowie Analysemethoden wie

- Failure Hazard Analyses,
- Failure Mode and Effects Analysis,
- Fault Tree Analyses,
- Dependence Diagram
- Markov Analyses

diskutiert und an einem Beispiel angewendet.

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Moir I.; Seabridge A.: Aircraft Systems; Wiley, 2008.</li><li>• Langton R. (Ed.); Aircraft Fuel Systems; Wiley, 2009.</li><li>• Birrolini; Zuverlässigkeit von Geräten und Systemen; Springer, Berlin, 1997</li><li>• SAE ARP 4761; Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 120 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Es wird grundlegendes Fach- und Methodenwissen für die spätere Tätigkeit als System- und Entwicklungsingenieur vermittelt.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik II	1062

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10621	VL	Flugsystemtechnik II	Pflicht	3
10622	SE	Flugsystemtechnik II	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Luftfahrtsysteme, Flugsystemtechnik I

## Qualifikationsziele

1. Der/die Studierende hat vertiefte Kenntnisse der IT-technische Infrastruktur an Bord eines Luftfahrzeugs.
2. Der/die Studierende kennt Aufgaben und Leistungsgrenzen der wesentlichen Kommunikations- und Datalinksysteme als Schnittstelle zum Boden.
3. Der/die Studierende kennt die Stärken und Schwächen verschiedener Missionssensorsysteme, kann die unterschiedlichen technischen Varianten vergleichen und hat vertiefte Kenntnisse über deren Funktionsprinzip.

## Inhalt

Nachdem im Master-Modul "Flugsystemtechnik I" auf die Grundsysteme eines Luftfahrzeuges eingegangen wurde, vertieft das Modul "Flugsystemtechnik II" die Kenntnisse in weiteren, zum Großteil elektronisch dominierten Teilsystemen und Komponenten.

Da in heutigen Luftfahrzeugen die Vernetzung der einzelnen Subsysteme sowie der jeweiligen funktionalen Domänen in hohem Grade zunimmt, wird im ersten Teil der Lehrveranstaltung "Avionik" auf die IT-technische Infrastruktur eingegangen und dabei die

- Grundlagen eingebetteter Rechnersysteme und -strukturen,
- digitale Bussysteme sowie die sog.
- "Integrierte Modulare Avionik"

angesprochen.

Anschließend werden weitere, darauf aufbauende Subsysteme wie

- Kommunikations- und Datalinksysteme
- Missionssensorsysteme sowie
- Bewaffnung / ECM / ESM / DASS.

behandelt.

Abschließend werden durch die Studierenden ausgewählte Einzelthemen, die an den behandelten Inhalt angelegt sind, aufbereitet und in Form von Kurzpräsentationen vorgetragen.

#### Literatur

- Moir; Seabridge; Civil Avionics Systems; Wiley, 2003.
- Tooley: Aircraft Digital Electronics and Computer Systems; Elsevier, 2007
- Flühr; Avionik und Flugsicherungstechnik; Springer, 2009

#### Leistungsnachweis

Benoteter Schein

Die Erstellung der Kurzpräsentationen erfolgt als Gruppenarbeit.

Der Schein setzt sich zusammen aus der bewerteten Kurzpräsentation und einer weiteren mündlichen/schriftlichen Wissensabfrage.

#### Verwendbarkeit

Es wird grundlegendes Fach- und Methodenwissen für die spätere Tätigkeit als System- und Entwicklungsingenieur vermittelt.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Flugzeugaerodynamik</b>	1063

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian 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 des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Flugzeugentwurf	1064

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Pflicht	9

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10641	VÜ	Flugzeugentwurf	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Grundlagen der Flugmechanik und Luftfahrttechnik

## Qualifikationsziele

1. Der/die Studierende kennt den Produkt-Lebensdauerzyklus eines Luftfahrzeugs, sowie die Einbindung des Konzept- und Vorentwurfs.
2. Der/die Studierende kennt den Ablauf der Arbeitsschritte im Konzeptentwurf.
3. Der/die Studierende kennt die für den Konzeptentwurf wichtigen Auszüge der Zulassungsvorschriften.
4. Der/die Studierende kann die Punkteleistungen für ein Fluggerät berechnen und kennt die Einflüsse der konstruktiven Parameter.
5. Der/die Studierende kennt die unterschiedlichen Arten von Flugmissionen sowie die Unterteilung in Missionssegmente.
6. Der/die Studierende kann die Start- und Landestrecke berechnen und kennt die Einflüsse der konstruktiven Parameter.
7. Der/die Studierende kann die Reichweite einer Konfiguration sowie den reichweitenoptimalen Betriebspunkt bestimmen und daraus ein Nutzlast-Reichweitendiagramm erstellen.
8. Der/die Studierende kann mit Hilfe des Auslegungsdigramms anhand vorgegebener Randbedingungen den optimalen Auslegungspunkt für eine Flugzeugkonfiguration bestimmen.
9. Der/die Studierende kennt die Grundlagen der Erstellung statistischer Formeln für die Massenabschätzung.
10. Der/die Studierende kann mit Hilfe der iterativen Anwendung der Fuel-Fraction-Methode das Abfluggewicht eines Konzeptes abschätzen, sowie die Sensitivitäten bezüglich der Eingangsparameter und der gestellten Anforderungen bestimmen.
11. Der/die Studierende kennt die Randbedingungen für die Auslegung von Flügel, Rumpf, Leitwerk und Fahrwerk sowie deren Integration.

- 12 Der/die Studierende kennt die Aufteilung der Gesamt- sowie der Betriebsleermasse in Teilmassen sowie Verfahren zur statistischen Leermasseabschätzung.
- 13 Der/die Studierende kennt die Aufteilung der bei einem Flugzeugprojekt entstehenden Kosten.

## Inhalt

Das Modul "Flugzeugentwurf" liefert die Grundlagen für den konzeptionellen Vorentwurf von Flächenflugzeugen. Hierbei sollen die Studenten in die Lage versetzt werden, anhand vorgegebener Randbedingungen einen Basisentwurf zu generieren.

Im Einführungskapitel wird der Entwicklungsprozess als Teil des Produktlebensdauerzyklus dargestellt. Weiterhin werden die Interessen und Einflüsse sämtlicher an einem Projekt beteiligten Parteien beleuchtet. In diesem Zusammenhang wird auch auf relevante Zulassungsvorschriften eingegangen. Im weiteren Verlauf beschränken sich die Betrachtungen auf den Konzeptentwurf als Teil des Vorentwurfs.

Zunächst wird das Auslegungsdiagramm, in welchem die grundsätzlichen Entwurfsparameter "Schub/Gewichtsverhältnis"  $F/G$  über "Flächenbelastung"  $G/S$  aufgetragen sind, allgemein vorgestellt. Im weiteren Verlauf werden aus gestellten Leistungsanforderungen Grenzen des Auslegungsdiagramms entwickelt. Im ersten Schritt werden die Punktleistungen (Steigfähigkeit, Beschleunigungsfähigkeit, max. Fluggeschwindigkeit, Dienstgipfelhöhe, durchgehaltene und maximale Wenderaten) hergeleitet, sowie die daraus entstehenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt. Die Betrachtung der Missionsleistungen erfordert zunächst eine Darstellung möglicher Missionsarten, sowie die Gliederung einer Mission in Missionssegmente. Im weiteren Verlauf werden Start- und Landestrecke betrachtet. Eine Aufteilung in Teilsegmente erlaubt die Abschätzung der benötigten Roll- und Gesamtstrecken. Anschließend werden die sich aus dieser Betrachtung ergebenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt. Weitere Grenzen wie z.B. Böenlastvielfache, Mindeststeigwinkel bei Triebwerksausfall etc. werden behandelt und dem Auslegungsdiagramm hinzugefügt. Abschließend ergibt sich ein Auslegungsbereich möglicher Kombinationen der Parameter  $G/S$  und  $F/G$  in dem der Auslegungspunkt gewählt werden muss.

Anschließend an die Behandlung des Auslegungsdiagramms werden Reichweiten- und Warteflug, sowie die Reichweitenoptimierung behandelt. Mithilfe der nun bekannten Zusammenhänge für Reichweiten-, Warte-, Steig- und Kurvenflug sowie einiger empirischer Ansätze für weitere Flugabschnitte wird mit der Fuel-Fraction-Methode eine Möglichkeit zur Bestimmung des Treibstoffbedarfs für eine vorgegebene Mission vorgestellt. Hiermit ergibt sich auch die Möglichkeit zur Bestimmung des Nutzlast-Reichweiten-Diagramms.

Durch iterative Anwendung der Fuel-Fraction-Methode ist nun eine Bestimmung der Abflugmasse für eine Auslegungsmission möglich. Somit können aus der Wahl des Auslegungspunkts die Größen für die Flügelfläche und den installierten Schub bestimmt werden.

Die bisherigen Betrachtungen hatten zum Ziel, die Grundlegenden Größen für die Erstellung einer Dreiseitenansicht zu bestimmen. In den weiteren Kapiteln werden die Auslegung von Flügel und Rumpf, die Dimensionierung von Leitwerk und Fahrwerk, sowie die Integration von Fahrwerk und Triebwerk behandelt. Hierbei wird insbesondere auf geometrische Randbedingungen sowie die Schwerpunktlage eingegangen.

Im nächsten Schritt wird die Bestimmung der Leermasse anhand von empirischen Formeln behandelt. Hierbei werden Teilmassen für einzelne Baugruppen bestimmt, so dass eine Festlegung des Gesamtschwerpunkts möglich wird.

Abschließend werden die bei einem Projekt entstehenden Kosten behandelt, welche für eine Wirtschaftlichkeitsprognose abgeschätzt werden müssen. Hierfür wird auf ein parametrisches Modell zurückgegriffen.

#### Literatur

- Anderson J.D.: Aircraft performance and design. Boston, 1999
- Fielding, J.P.: Introduction to aircraft design. Cambridge, 2003
- Howe, D.: Aircraft Conceptual Design. Suffolk, 2000
- Raymer, D.P.: Aircraft Design: A conceptual Approach. AIAA Education Series, 1992
- Roskam J.: Airplane Design. Parts I-VIII. Kansas, 1989
- Torenbeek, E.: Synthesis of subsonic Airplane Design. Delft, 1982

#### Leistungsnachweis

##### Benoteter Schein

Die Übung erfolgt als Entwurfsaufgabe in Gruppenarbeit.

Der Schein setzt sich zusammen aus der bewerteten Gruppenarbeit und einer weiteren mündlichen/schriftlichen Wissensabfrage.

#### Verwendbarkeit

Die Inhalte des Moduls liefern die Grundlagen zur Analyse und Synthese von Flächenflugzeugen.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>FVW-Strukturen</b>	1065

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Helmut Rapp	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10651	VÜ	FVW-Strukturen	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Festigkeitslehre"

#### Qualifikationsziele

1. Die Studierenden kennen die Einzelkomponenten von Faserverbundwerkstoffen und deren Eigenschaften. Sie wissen, wie diese Werkstoffkomponenten im Verbund zusammenwirken.
2. Die Studierenden verstehen das Verhalten orthotroper und anisotroper Werkstoffe, sie können das Versagen solcher Werkstoffe an Hand von verschiedenen Bruchkriterien beurteilen.
3. Die Studierenden sind in der Lage, die Eigenschaften beliebig aufgebauter Laminat rechnerisch zu ermitteln und deren Eigenschaften im Hinblick auf zu konstruierende Strukturen zu beurteilen.
4. Die Studierenden kennen die Stärken, aber auch die Schwächen des Faserverbundwerkstoffes beim Einsatz in tragenden Strukturen.
5. Die Studierenden wissen, wie Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen hergestellt werden können und welche fertigungsabhängigen Eigenschaften beachtet werden müssen.

#### Inhalt

Die Studierenden erhalten im Modul „FVW-Strukturen“ einführende Kenntnisse über das Verhalten und die Berechnung von Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen (FVW). Schwerpunkt bildet die Einführung in die klassische Laminattheorie sowie anzuwendende Versagenshypothesen. Hinweise zur Analyse von Faserverbundstrukturen mittels analytischer und numerischer (FE-) Methoden sowie zur konstruktiven Gestaltung und zur Herstellung runden das Modul ab.

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Materialien

<p>Faserwerkstoffe, Matrixwerkstoffe.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidirektionalschicht (UD-Schicht) Eigenschaften der UD-Schicht, Werkstoffgesetz der UD-Schicht, Matrixschrumpf und Feuchteaufnahme.</li> <li>- Mehrschichtverbunde (klassische Laminattheorie) Transformation der UD-Schicht, Werkstoffgesetz der geschichteten Platte, Berechnung von Spannungen in denEinzellagen, Schubspannungen infolge Querkraft der geschichteten Platte.</li> <li>- Versagenskriterien Maximale Spannung, maximale Dehnung, Versagenkriterien von Hoffmann, Tsai-Wu, Puck.</li> <li>- Berechnung von FVW-Strukturen Auslegung und Optimierung von Laminaten, Stabartige Elemente, 3D-Laminattheorie, Krafteinleitungen (Bolzen, Schlaufen, Klebung).</li> <li>- Hinweise zur Fertigung</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schürmann H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Berlin: Springer-Verlag, 2005.</li> <li>• Moser K.: Faser-Kunststoff-Verbund. Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen. Düs-seldorf: VDI-Verlag, 1992.</li> <li>• Puck A.: Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten. Carl Hanser Verlag: Mün-chen, 1996.</li> <li>• Tsai S.W., Hahn T.: Introduction to Composite Materials. Westport/Conn.: Technomic Publishing Company, 1980.</li> <li>• Vinson J.R., Sierakowski R.L., The behavior of Structures Composed of Composite Materials. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung 90 Minuten (30 Minuten Fragenteil ohne Hilfsmittel, 60 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>Das Modul vermittelt die Grundlagen der Konstruktion und der Berechnung von Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen. Diese Kenntnisse sind von Bedeutung für alle Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen, nicht nur aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik, sondern auch der Automobil- und Windenergietechnik sowie dem allgemeinen Maschinenbau bis hin zu Sportgeräten.</p>

### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Gasdynamik</b>	1066

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian 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
10661	VL	Gasdynamik	Pflicht	2
10662	UE	Gasdynamik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Grundkenntnisse aus Höherer Mathematik und Physik sowie Kenntnisse, wie sie im Modul "Strömungsmechanik und Aerodynamik" vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden können Form und Lage auftretender Verdichtungsstöße vorhersagen
- Die Studierenden kennen die aerodynamischen Probleme im Unter- und Überschall und beherrschen deren mathematische Behandlung
- Die Studierenden sind mit Effekten der Schallnahen Strömung und der Hyperschallströmung vertraut
- Die Studierenden beherrschen die Anwendung des Charakteristikenverfahrens
- Die Studierenden sind mit der Erzeugung von Überschallströmung und mit der wesentlichen Messtechnik zur Analyse kompressibler Strömung vertraut

## Inhalt

- Thermodynamische Grundlagen der Gasdynamik
- Überschallströmung: Lavalströmung, kritische Strömungsgrößen, senkrechter Verdichtungsstoß
- Schiefer Verdichtungsstoß, anliegende/abgelöste Stoßformen
- Prandtl-Meyer-Strömung
- Gasdynamische Grundgleichung
- Charakteristikenverfahren
- Schallnahe Strömung
- Hyperschallströmung
- Reibungseffekte
- Realgaseffekte
- Versuchsanlagen und Messmethoden der Gasdynamik

Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anderson J.D.: Modern Compressible Flow: With Historical Perspective. McGraw-Hill Series in Aeronautical &amp; Aerospace Engineering, McGraw Hill Higher Education. 1990.</li> <li>• Krause E.: Strömungslehre, Gasdynamik und Aerodynamisches Laboratorium. 208 Aufgaben mit Lösungen sowie 11 ausführlichen Versuchen im Aerodynamischen Laboratorium. Vieweg+Teubner, 2003.</li> <li>• Oswatitsch K.: Grundlagen der Gasdynamik. Springer-Verlag GmbH, 1987.</li> <li>• Oswatitsch K.: Spezialgebiete der Gasdynamik. Schallnähe, Hyperschall, Tragflächen, Wellenausbreitung. Springer-Verlag, 1982.</li> <li>• Zierep J.: Theoretische Gasdynamik. Karlsruhe: G. Braun-Verlag, 1991.</li> <li>• Landau L.D., Lifschitz, E.M.: Hydrodynamik. Bd. 6, 1990, Verlag Harri Deutsch</li> </ul>
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel).
Verwendbarkeit
Die Inhalte der Vorlesung liefern die theoretischen Grundlagen und das notwendige Verständnis zur Analyse und Vorhersage von kompressiblen Strömungen. Die erworbenen Kenntnisse über transsonische, supersonische und hypersonische Strömung bilden die Grundlage für ein tieferes Verständnis der Strömungsphänomene in der Luft – und Raumfahrttechnik.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.  Für Studierende der Vertiefungsrichtung ME-PTM-LRT des Studiengangs Mathematical Engineering (M.Sc.) ist das Modul im Wintertrimester des 2. Studienjahrs vorgesehen.

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

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
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

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- 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.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul **Höhere Technische Mechanik** das Grundwissen zur Beurteilung, Berechnung und Interpretation komplexerer Beanspruchungszustände von mechanischen Bauteilen und Systemen.

- Grundlagen der Vektor- und Tensorrechnung, Differentialoperatoren, Einsteinsche Summenkonvention, Koordinatentransformation, Symmetrische und antisymmetrische Tensoren, Invarianten eines Tensors 2. Stufe, Hauptachsentransformation, Satz von Cayley-Hamilton, Ableitungen von Feldfunktionen und Tensoren, Gausscher Integralsatz
- Kinematik deformierbarer Körper, Lagrangesche und Eulersche Beschreibung, Deformations- und Verschiebungsgradient, Geschwindigkeitsvektoren, Geschwindigkeitsgradienten und Tensoren, Verzerrungstensoren, geometrische Linearisierung

<ul style="list-style-type: none"><li>• Spannungstensoren der Referenz- und Momentankonfiguration, Deviator und Kugelanteil</li><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 des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Leichtbaustrukturen	1068

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Helmut Rapp	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10681	VÜ	Leichtbaustrukturen	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

**Empfohlene Voraussetzungen**

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in „Festigkeitslehre“ und „Leichtbau“

**Qualifikationsziele**

1. Die Studierenden kennen die wesentlichen Mechanismen, die bei der Einleitung konzentrierter Kräfte in dünnwandige Strukturen wirken. Sie können die dabei auftretenden Spannungen ermitteln und ihre Auswirkungen auf praktische Problemstellungen beurteilen.
2. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, Stabilitätsprobleme dünnwandiger stabartiger Tragwerke zu klassifizieren. Sie können die stabilitätskritischen Lasten für einfache dünnwandige Tragwerke ermitteln.
3. Die Studierenden besitzen ein grundlegendes Verständnis für die Wirkungsweise von Membrankreiszyinderschalen ohne und mit Umfangsversteifungen (Spante).

**Inhalt**

Die Studierenden erhalten im Modul „Leichtbaustrukturen“ vertiefende Kenntnisse über Leichtbaustrukturen. Besondere Berücksichtigung finden Phänomene der Kraffteinleitung und der Stabilität dünnwandiger Strukturen. Ein erster Einblick in die Funktionsweise und Berechnung von Membrankreiszyinderschalen wird gegeben.

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Lastein-/umleitungen,  
Dreigurtscheibe, analytische Lösung, Shear-Lag Theorie.
- Stabilität von Leichtbaustrukturen  
+ Stab-Feder-Systeme  
Verzweigungsproblem,  
Durchschlagsproblem,

<p>Systeme mit mehreren Freiheitsgraden, kombinierte Beanspruchungen (Interaktionsformeln).</p> <p>+ Elastische Tragwerke druckbelasteter Balken mit Vorverformung, Näherungsverfahren für den Balken, elastisch gebetteter Balken, Sandwichknittern, Biegedrillknicken, Kippen, Plattenbeulen, Teilschaleninstabilitäten, Beulen von Kreiszyinderschalen, Konzept der mitttragenden Breite und des Zugfeldes.</p> <p>- Statik der Kreiszyinderschalen Übertragungsmatrix der Membranschale, Umfangsbiegesteife Kreiszyinderschale, Spantmatrix.</p>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kossira H.: Grundlagen des Leichtbaus. Einführung in die Theorie dünnwandiger stabförmiger Tragwerke. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1996.</li><li>• Wiedemann J.: Leichtbau. Elemente und Konstruktion. Berlin: Springer Verlag, 2007.</li><li>• Pflüger A.: Stabilitätsprobleme der Elastostatik. Berlin: Springer-Verlag, 1975.</li><li>• Niu M.C.Y.: Airframe Stress Analysis and Sizing. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd., 1999.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten (30 Minuten Fragenteil ohne Hilfsmittel, 60 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Luftfahrtantriebe	1069

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Niehuis	Pflicht	0

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10691	VL	Luftfahrtantriebe	Pflicht	2
10692	UE	Luftfahrtantriebe	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse aus den Modulen "Strömungsmechanik", "Gasdynamik", "Thermodynamik" und "Antriebssysteme".

Qualifikationsziele

- Die Studierenden besitzen ein vertieftes Verständnis der verschiedenen Triebwerksarten, deren spezielle Bauweise und Einsatzbereiche in der Luftfahrt.
- Die Studierenden besitzen die Fähigkeit, mithilfe des vermittelten Grundwissens verschiedene Triebwerksarten und deren unterschiedliche Anwendungsbereiche richtig einzuordnen und zu bewerten. Sie sind in der Lage, einfache Prozessrechnungen selbst vorzunehmen.
- Die Studierenden sind fähig, geeignete Antriebssysteme für unterschiedlichste Luftfahrzeuge in Abhängigkeit der Flugmission auszuwählen und zu definieren.
- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die speziellen Anforderungen der Triebwerke für den überschallflug
- Für einfache Triebwerksarten (TL-Triebwerke) können die Studierenden anhand der grundlegenden Zusammenhänge das Betriebsverhalten verstehen und nachvollziehen.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Luftfahrtantriebe ein vertieftes Grundlagenwissen über die verschiedenen Arten und Bauweisen von Antriebssystemen für unterschiedliche Anwendungen in der Luftfahrt:

- Die Studierenden erhalten nach einer kurzen Wiederholung wesentlicher Aspekte der Gasdynamik eine Einführung in das Betriebsverhalten von TL-Triebwerken anhand von Verdichter- und Triebwerks-Kennfeldern. Dabei werden auch Aspekte

<p>der Regelung, die Formulierung von geeigneten Ähnlichkeitskenngrößen sowie das instationäre Betriebsverhalten behandelt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Zweck und die Vorteile der Mehrwellenbauart werden für TL-Triebwerke dargestellt und es wird dabei auf die aerodynamischen Zusammenhänge sowie einige Aspekte zum Betriebsverhalten von TL-Triebwerken in Zweiwellenbauart eingegangen.</li> <li>• In ausführlicher Form wird auf die heute übliche Bauweise, das sogenannte ZTL-Triebwerk eingegangen. Dabei lernen die Studierenden die Einsatzbereiche und Bauarten sowie die aerothermodynamischen Zusammenhänge kennen. Neben der Definition von Kennzahlen werden die Grundlagen zur Berechnung von Schub, spezifischen Brennstoffverbrauch und Wirkungsgraden vorgestellt sowie Optimierungsaspekte angesprochen. Abgerundet wird dies mit der Darstellung der besonderen Gestaltungsanforderungen des Fans.</li> <li>• Danach werden die Studierenden mit den Einsatzbereichen und dem Aufbau von PTL-Triebwerken und Turbomotoren vertraut gemacht. Vermittelt werden die aerothermodynamischen Zusammenhänge, Kennzahlen und Ähnlichkeitskenngrößen, der Einfluss der Hauptauslegungsparameter auf Schub und spezifischen Brennstoffverbrauch sowie Aspekte von Teillast und Regelung. Nach der Darstellung der Bauarten von PTL-Triebwerken werden aktuelle Tendenzen und so genannte Propfan-Triebwerkskonzepte erläutert.</li> <li>• Das Modul schließt mit einer Darstellung von Triebwerken für den Überschallflug. Die Studierenden lernen die speziellen Anforderungen kennen, wobei insbesondere auf Überschalleinlaufdiffusoren, die Schubdüsegestaltung für den Überschallflug sowie Triebwerke mit Nachverbrennung eingegangen wird.</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bräunling W.: Flugzeugtriebwerke. Springer Verlag, 2004.</li> <li>• Hagen H.: Fluggasturbinen und ihre Leistungen. Karlsruhe: Verlag G. Braun, 1982.</li> <li>• Hünecke K.: Flugtriebwerke. Stuttgart: Verlag Motorbuch, 1978.</li> <li>• Müller R.: Luftstrahltriebwerke. Grundlagen, Charakteristiken, Arbeitsverhalten. Braunschweig: Vieweg, 1997.</li> <li>• Münzberg H.G.: Flugantriebe. Berlin: Springer-Verlag, 1972.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für Auswahl und Projektierung von Antriebskomponenten für unterschiedliche Anwendungsbereiche, für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Flugantriebe und Turbomaschinen.

### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Kontinuierliche und Digitale Regelung</b>	1070

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Ferdinand Svaricek	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
240	84	156	8

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10701	VL	Regelungstechnik	Pflicht	2
10702	UE	Regelungstechnik	Pflicht	2
10703	VL	Digitale Regelung	Pflicht	2
10704	UE	Digitale Regelung	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>7</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

„Höhere Mathematik“, „Technische Mechanik“, „Messtechnik“, „Experimentalphysik“, „Allgemeine Elektrotechnik“ und „Steuer- und Regelungstechnik“ des LRT-Bachelorstudiums.

## Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Eingrößenregelkreise anhand der Wurzelortskurven beurteilen und durch Anpassung des Reglers gezielt verändern.
2. Die Studierenden sind in der Lage die Stabilität eines Regelkreis anhand der Ortskurve und des Bodediagramms des offenen Kreises zu überprüfen.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, Zustandsraummodelle von technischen Systemen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen aufzustellen und deren Eigenschaften zu analysieren.
4. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, das dynamische Verhalten von Eingrößenregelkreise durch den Entwurf von linearen Zustandsrückführungen gezielt zu beeinflussen.
5. Die Studierenden haben grundlegende Kenntnisse in der digitalen Signalverarbeitung und in der Modellierung, Analyse und Synthese digitaler Regelkreise.
6. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, den Einfluß von Zeitdiskretisierung, Amplitudenquantisierung und Halteglieder auf die Stabilität und die Regelgüte digitaler Regelungen richtig einzuschätzen.
7. Die Studierenden können zeitdiskrete Modelle komplexer dynamischer Systeme im Zeit- und Frequenzbereich aufstellen und deren Eigenschaften analysieren.
8. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, digitale Regelkreise zu analysieren und auszulegen.

## Inhalt

Das Modul besteht aus der Vorlesung „Regelungstechnik“, der Vorlesung „Digitale Regelung“ und den dazugehörigen Übungen.

In der Vorlesung „Regelungstechnik“ wird das in der Grundlagenvorlesung Steuer- und Regelungstechnik erworbene Grundwissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft und erweitert:

1) Die Studierenden erhalten zunächst eine Einführung in die geometrische Stabilitätsanalyse mit Hilfe des Wurzelortskurvenverfahrens. Anschließend wird vermittelt, wie das WOK-Verfahren zur Synthese linearer dynamischer Regler eingesetzt werden kann.

2) Anschließend lernen die Studierenden verschiedene Methoden für die Modellierung, Beschreibung und Analyse des Verhaltens von dynamischen Systemen im Frequenzbereich kennen:

- Frequenzgang,
- Ortskurve und Bodediagramm,
- Phasenminimum- und Allpaßsysteme,
- Stabilitätsprüfung mit Hilfe des Nyquistverfahrens,
- Stabilitätsrand (Amplituden- und Phasenrand).

3) Dann wird die Beschreibung und Analyse dynamischer Eingrößensysteme im Zustandsraum behandelt. Neben der Vorstellung der grundlegenden Begriffe und Definitionen (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden auch elementare Methoden zur Analyse des dynamischen Verhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und der Steuer- und Beobachtbarkeit sowie wichtige Normalformen (Diagonal-, Regelungs- und Beobachtungsnormalform, Kalman-Zerlegung) vermittelt.

4) Die Studierenden werden dann mit den Grundlagen zur Synthese linearer Zustandsregler vertraut gemacht. Dabei werden im Einzelnen die folgenden Aspekte behandelt:

- Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
- Zustandsbeobachter,
- Berücksichtigung von Störgrößen,
- erweiterte Regelungsstrukturen.

In der Vorlesung „Digitale Regelung“ werden die Grundlagen zur digitalen Realisierung moderner Steuerungen und Regelungen vermittelt:

1) Die Studierenden erhalten zunächst eine Einführung in die digitale Signalverarbeitung:

- Diskrete Signale und Systeme
- Analog/Digital-Umsetzung
- Periodische Signalabtastung, Halteglieder
- Spektrum diskreter Signale
- Abtasttheorem
- Frequenzfaltung, Aliasing

2) Anschließend wird die Beschreibung und Analyse digitaler Systeme im Zeit- und Bildbereich behandelt:

- Definition von Abtastsystem und zeitdiskreter Standardregelkreis
- Beschreibung im Zeitbereich durch Sprung- und Gewichtsfolgen, Differenzgleichungen und zeitdiskrete Zustandsmodelle
- Beschreibung im Bildbereich durch z-Übertragungsfunktion, Pole und Nullstellen
- Äquivalente zeitdiskrete Systeme
- Steuer- und Beobachtbarkeit
- Stabilitätskriterien im Zeitbereich und im z-Bereich
- Stabilität von Abtastsystemen

3) Die Studierenden lernen dann die Grundlagen zur Synthese digitaler Regelungen kennen:

- Entwurf quasikontinuierlicher digitalen Regelungen
- Digitaler PID-Regler
- Deadbeat Regler

#### Literatur

##### **Regelungstechnik:**

- Lunze, J.: Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen. 5. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- Lunze, J.: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- Unbehauen, H.: Regelungstechnik. Band I. 13. Auflage. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 2005.

- Unbehauen, H.: Regelungstechnik. Band II. 8. Auflage. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 2000.

### **Digitale Regelung:**

- Lunze J.: Regelungstechnik 2. Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- Unbehauen H.: Regelungstechnik. Band II. 8. Auflage. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 2000.
- Braun A.: Digitale Regelungstechnik. München: R. Oldenbourg Verlag, 1997.
- Franklin G.F.; Powell, J.D.; Workman M.: Digital Control of Dynamic Systems. 3. Auflage. Menlo Park: Addison Wesley Longman, 1998.

### **Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 165 Minuten oder mündliche Prüfung 60 Minuten.  
 Regelungstechnik 90 Minuten (30 Minute Fragenteil ohne Hilfsmittel und 60 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln außer programmierbaren Taschenrechner).  
 Digitale Regelung 75 Minuten (25 Minute Fragenteil ohne Hilfsmittel und 50 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln außer programmierbaren Taschenrechner).

### **Verwendbarkeit**

Voraussetzung für das Modul „Filter und Schätzverfahren“

### **Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 2 Semester, es beginnt im Wintersemester des 1. Master-Studienjahres.

Modulname	Modulnummer
<b>Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften</b>	1071

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10711	VL	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	Pflicht	4
10712	UE	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Empfohlene Voraussetzungen
LRT-Bachelor Abschluss oder vergleichbarer Ingenieur-Bachelor Abschluss.

Qualifikationsziele
Die Studierenden beherrschen fortgeschrittene mathematische Methoden, die dem Ingenieur zur Bewältigung anspruchsvoller Aufgabenstellungen in seinem wissenschaftlich-technischen Umfeld dienen.

Inhalt
<p>Um den vielfältigen Anwendungsgebieten der Ingenieurwissenschaften gerecht zu werden, zielt die Lehrveranstaltung darauf ab, grundlegende mathematische Werkzeuge zur Modellierung technischer Aufgabenstellungen und wesentliche analytische Methoden zur ihrer Lösung zu vermitteln. Dazu führt das Modul in fortgeschrittene Kapitel der Höheren Mathematik ein und behandelt folgende Themen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fourier-Transformation und Fourierreihen</li> <li>• Laplace-Transformation</li> <li>• Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik</li> <li>• Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen</li> <li>• Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken</li> </ul>

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.</li><li>• R. Ansorge, H. J. Oberle: Mathematik für Ingenieure. Band 2. Akademie Verlag, 1994.</li><li>• L. Debnath: Nonlinear partial differential equations for scientists and engineers. 2nd Edition, Birkhäuser, Basel, 2005.</li><li>• L. C. Evans: Partial differential equations. 2nd Edition, Graduate Studies in Mathematics, Vol. 19, American Mathematical Society, 2010.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung mit 90 Minuten Dauer.
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für alle weiteren naturwissenschaftlich-technischen Module im Master-Studiengang LRT und als Grundlage für wissenschaftlich-technisches Arbeiten.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Messmethoden in der Strömungsmechanik</b>	1072

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian Kähler	Pflicht	2

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10721	VL	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Pflicht	2
10722	UE	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Grundkenntnisse aus Physik und Messtechnik sowie die Vorlesung "Strömungsmechanik".

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden kennen das grundlegende Messprinzip der verschiedenen mechanischen, elektrischen und optischen Messverfahren.
- Die Studierenden kennen die Vor- und Nachteile der vorgestellten Messverfahren und sind in der Lage, bei einem gegebenen praktischen Problem die geeignete Messtechnik auszuwählen, die zur Beantwortung der strömungsmechanischen Fragestellung führt.
- Die Studierenden haben eine Vorstellung von den wirtschaftlichen Aspekten, d.h. welcher finanzielle und personelle Aufwand ist mit dem Einsatz eines bestimmten Messverfahrens unter Erhalt welcher strömungsmechanischen Erkenntnisse verbunden.

## Inhalt

Bei strömungsmechanischen Entwurfsaufgaben spielt das Versuchswesen eine zentrale Rolle. Sei es an einem verkleinerten Modell im Windkanal oder an der Großausführung. Die dabei zur Verfügung stehenden diagnostischen Hilfsmittel haben sich ebenso rasant entwickelt, wie die Elektronik der schnellen Signalverarbeitung und besonders die Laseroptik.

Im Modul "Messmethoden in der Strömungsmechanik" werden die wichtigsten mechanischen, elektrischen und optischen Messverfahren behandelt, die heute in der Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuchsanlagen für Modelluntersuchungen</li> <li>• Verfahren zur Visualisierung von Strömungen</li> <li>• Druckmessverfahren</li> <li>• Kraftmessung</li> <li>• Hitzdrahttechnik</li> <li>• Laser Zwei Fokus Anemometer (L2F)</li> <li>• Laser Doppler Anemometrie (LDA)</li> <li>• Doppler Global Velocimetry (DGV)</li> <li>• Particle Image Velocimetry (PIV)</li> <li>• Particle Tracking Velocimetry (PTV)</li> <li>• Schlierenverfahren</li> <li>• Interferometer</li> <li>• Thermographie</li> <li>• Pressure Sensitive Paint (PSP)</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eckelmann H.: Einführung in die Strömungsmesstechnik. Teubner, 1997.</li> <li>• Tropea C., Yarin A.L., Foss J.F.: Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Springer Verlag, 2007.</li> <li>• Raffel M., Willert C., Wereley S., Kompenhans J.: Particle Image Velocimetry. Springer Verlag, 2007.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 75 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)
<b>Verwendbarkeit</b>
Die Inhalte des Moduls "Messmethoden in der Strömungsmechanik" vermitteln zentrale Begriffe der Messtechnik. Einige der vorgestellten Methoden werden in einer nachfolgenden Lehrveranstaltung, dem "Apparativen Praktikum Fluidodynamik", in den Laboren des Instituts für Strömungsmechanik in kleinen Gruppen angewendet. Zudem bereitet das Modul auf Messungen vor, die im Rahmen von Bachelor-/Masterarbeiten durchgeführt werden.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Messtechnik	1073

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. habil. Günther Dollinger	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10731	V/Ü/P	Messtechnik	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Experimentalphysik/Praktikum, Grundlagen der Messtechnik, Steuerungs- und Regelungstechnik, Höhere Mathematik I, II, III, Grundlagen der Elektrotechnik

#### Qualifikationsziele

1. Die Studierenden lernen die Prinzipien zur genauen Messung von elektrischen Größen kennen.
2. Die Studierenden lernen prinzipielle Grenzen in der Messung elektrischer Größen kennen.
3. Die Studierenden lernen exemplarisch physikalische Grundlagen und Anwendung unterschiedlicher Sensoren kennen.

#### Inhalt

Das Modul besteht aus der Vorlesung „Messtechnik“, den dazugehörigen Übungen und einem messtechnischen Praktikum.

In der „Messtechnik“ werden folgende Inhalte vermittelt:

- Messung elektrischer Größen analog und digital
- Messverstärker für Strom, Spannung, Ladung
- Rauschen und die Auswirkung auf die Genauigkeit von Messungen
- Temperatursensoren, zugehörige Messprinzipien und Anwendungsbereiche
- Sensoren für elektromagnetische Strahlung und hochenergetische Teilchenstrahlen

#### Literatur

- E. Schrüfer, Elektrische Messtechnik, Hanser Verlag, München 2004
- R. Lerch, Elektrische Messtechnik, Springer, Berlin 2005
- H.-J. Kunze, Physikalische Messmethoden, Teubner Studienbücher, Stuttgart 1986

<ul style="list-style-type: none"><li>• F. Bernhard, Technische Temperaturmessung, Springer, Berlin 2004</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Messtechnik: schriftliche Prüfung 75 Minuten, Prüfungen März/April und September  Messtechnik Praktikum: Teilnahmeschein  Zugelassene Hilfsmittel für schriftliche Prüfung: <ul style="list-style-type: none"><li>• 2 handbeschriebene Blätter (DIN A4)</li><li>• mathematische Formelsammlung</li><li>• nicht programmierbarer Taschenrechner</li></ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für alle weiteren Vorlesungen im Bereich Flugführung, Steuer- und Regelungstechnik, Autonome Systeme, Satellitennavigation
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Moderne Methoden der Regelungstechnik</b>	1075

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. (PD) Gunther Reißig	Wahlpflicht	1

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10751	VL	Moderne Methoden der Regelungstechnik	Pflicht	2
10752	UE	Moderne Methoden der Regelungstechnik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

„Höhere Mathematik“, „Technische Mechanik“, „Messtechnik“, „Experimentalphysik“, „Allgemeine Elektrotechnik“, „Steuer- und Regelungstechnik“ und „Regelungstechnik“.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden wissen, was Mehrgrößensysteme sind und beherrschen die im Modul vermittelten Methoden zur Analyse, Auslegung und Regelung solcher Systeme. Sie sind in der Lage zu erkennen, inwieweit die vermittelten Methoden auf vorgelegte praktische Problemstellungen anwendbar sind; ggf. können sie die Methoden sicher und wenn nötig unter Zuhilfenahme geeigneter Software zur Lösung der Problemstellung anwenden.

## Inhalt

Gegenstand des Moduls sind lineare zeitinvariante Zustandssysteme mit mehreren Ein- oder Ausgängen, kurz „Mehrgrößensysteme“. Vermittelt werden systematische Methoden der Bestimmung und Vorgabe von Systemeigenschaften (Analyse und Auslegung) und des Entwurfs linearer Regler zur gezielten Beeinflussung von Systemeigenschaften (Regelung). Dazu werden u.a. folgende Themen behandelt:

1. Gegenstand, Geschichte und typische Anwendungsbeispiele von Mehrgrößensystemen.
2. Allgemeine Lösung, Koordinatentransformationen, Matrixexponentialfunktion.
3. Steuerbarkeit, Beobachtbarkeit, Normalformen.
4. Übertragungsfunktion, Realisierbarkeit und Realisierung.
5. Stabilitätsbegriffe und -kriterien.
6. Zustandsrückführungen: Stabilisierung, Sollwertreglung, Entkopplung.
7. Beobachter, Separationsprinzip.
8. Störungen, Robustheit, I-Anteil.
9. Elemente der Linearen Optimalen Regelung.

10Rechnergestützte Verfahren.
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Antsaklis, Michel: A Linear Systems Primer, Birkhäuser 2007.</li><li>• Lunze: Regelungstechnik 2, Springer 2010.</li><li>• Sontag: Mathematical Control Theory, Springer 1998.</li><li>• Svaricek, F.: Zuverlässige numerische Analyse linearer Regelungssysteme, Teubner 1995.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Steuer- und Regelungstechnik.  In diesem Studiengang: <ul style="list-style-type: none"><li>• Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Regelungstechnik“</li><li>• Voraussetzung für das Modul „Filter und Schätzverfahren“</li></ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt. Das Modul wird jedes Studienjahr angeboten.

Modulname	Modulnummer
<b>Moderne Strukturwerkstoffe</b>	1076

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Hans-Joachim Gudladt	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10761	VL	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
10762	UE	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Bachelor-Studium

Qualifikationsziele
Dem Studenten werden ingenieurwissenschaftliche Inhalte vermittelt, die sich auf das mechanische Verhalten von Werkstoffen beziehen, die im Bereich der Luft- und Raumfahrt eingesetzt werden. Dazu gehören, faserverstärkte Kunststoffe (CFK), Metall-Kunststoffverbunde, z.B. GLARE, hochfeste Aluminiumwerkstoffe sowie Titan- und Nickelbasislegierungen sowie Keramikverbundwerkstoffe. Das Hauptaugenmerk richtet sich dabei auf das mechanische Verhalten unter korrosiver Beanspruchung und bei hohen Temperaturen.

Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im ersten Abschnitt lernt der Student das mechanische Verhalten von Polymeren und Faserverbundwerkstoffen, bevorzugt auf Epoxidbasis, kennen. Dabei wird der amorphen Struktur des Werkstoffes dadurch Rechnung getragen, dass sowohl das energie- als auch das entropie-elastische Verhalten betrachtet wird.</li> <li>• Darüber hinaus werden den Studenten die Grundlagen des Schädigungsverhaltens von Verbundwerkstoffen unter schwingender Beanspruchung vermittelt. Darin sind auch moderne Strukturwerkstoffe, wie z.B. ARALL und GLARE mit eingeschlossen.</li> <li>• Der zweite Teil der Vorlesung beschäftigt sich mit dem Korrosionsverhalten von metallischen und polymeren Werkstoffen im Hinblick auf Spannungsriß- und Schwingungskorrosion.</li> <li>• Im letzten Teil der Vorlesung gewinnen die Studenten Einblick in das mechanische Verhalten von Werkstoffen bei hohen Temperaturen. Hierbei wird dem Aspekt des Kriechens und der Kriechschädigung breiter Raum gewidmet.</li> <li>• Auf dem Bereich LRT abzielend, erhalten die Studenten gezielte Informationen zum Schädigungsverhalten von keramischen Werkstoffen, wobei besonders den</li> </ul>

<p>sog. Verbundkeramiken (CMC) Aufmerksamkeit gewidmet wird. Darüber hinaus werden Strategien zur Duktilisierung von Keramiken dargestellt und ein Ausblick auf die zukünftige Materialentwicklung im Bereich LRT gegeben.</p>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Hornbogen E.: Metallische Werkstoffe, Springer Verlag, 2002.</li><li>• Easterling K., Zschech E.: Werkstoffe im Trend. Berlin: Verlag Technik, 1996.</li><li>• Easterling K.: Tomorrow's Materials. Dorchester, London: The Institute of Metals, the Dorset Press, 1988.</li><li>• Ashby M.F., Jones R.H.: International Science and Technology. Vol. 34 &amp; 39. Oxford, New York: Pergamon Press.</li><li>• Bd. I: An introduction to their properties and application. 1980.</li><li>• Bd. II: An introduction to microstructure and design. 1986.</li><li>• Courtney T.H.: Mechanical Behavior of Materials. Series in Materials Science and Engineering. McGraw-Hill, 1990.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das erworbene Wissen befähigt den Studenten zum Verständnis von Strukturmaterialien im Bereich Zelle und Triebwerk in Bezug auf das mechanische Verhalten. Er wird in die Lage versetzt, Materialoptimierung für zukünftige Strukturbauteile der Luftfahrt vorzunehmen. Darüber hinaus kann er Schwachstellen der Materialien in Bezug auf Ermüdung und Korrosion erkennen und für Abhilfe sorgen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	1077

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10771	VÜ	Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden können die Bedeutung der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik bei ingenieurs-wissenschaftlichen Problemstellungen hinsichtlich Realisierbarkeit, Entropieproduktion und Quantifizierung erkennen.</li> <li>2. Die Studierenden können für sehr einfache Fälle quantitative und ansonsten qualitative Aussagen treffen.</li> <li>3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, die Annahmen, Begrenzungen und Vorteile der ggw. Möglichkeiten der Modellierungen der Kontinuums(fluid-) Mechanik zu beurteilen</li> </ol>
Inhalt
<p>Die Studierenden erkennen im Modul Nichtgleichgewichts-Thermodynamik zunächst die Bedeutung des Gebietes für reale Zustandsänderungen im Umfeld Luft- und Raumfahrttechnik und erwerben das Grundwissen zur Analyse und Beeinflussung von irreversiblen Prozessen.</p> <p>1) Die Studierenden erhalten eine Einführung in die Bedeutung der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik bei Problemstellungen aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik. Insbesondere wird vermittelt, dass reversible Zustandsänderungen praktisch nicht vorkommen bzw. von sehr langen Zeitskalen begleitet sind.</p> <p>2) Davon ausgehend werden drei Haupt-Themengebiete in ihren Grundzügen betrachtet.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• linear phänomenologische Theorie zur Beschreibung diffusiver Effekte,</li> <li>• Aufstellung makroskopischer Bilanzgleichungen und</li> <li>• Aufstellung mikroskopischer Bilanzgleichungen.</li> </ul>

3) Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf einfache Beispielsituationen erweitert und relevante Anwendungen in numerischen Verfahren diskutiert.
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet von irreversiblen Prozessen. Beurteilungsfähigkeit von Einsatzgebieten von Theorie und darauf beruhenden Berechnungsverfahren bzw. entsprechender Einschränkungen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Numerische Mathematik	1078

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Markus Klein	Pflicht	9

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10781	VL	Numerische Mathematik	Pflicht	3
10782	UE	Numerische Mathematik	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen

Grundlagen der numerischen Mathematik und der Softwareentwicklung aus dem Bachelorstudium

Qualifikationsziele

Sehr viele Vorgänge in der Luft- und Raumfahrttechnik können durch partielle Differentialgleichungen beschrieben werden. Diese Gleichungen, in Verbindung mit komplexen Randbedingungen, können nur behandelt werden, indem man sie drastisch vereinfacht oder numerisch löst.

Durch die Verfügbarkeit von leistungsfähigen Computern hat die numerische Lösung in den letzten Jahrzehnten in der Praxis große Bedeutung gewonnen. Das Modul "Numerische Mathematik" stellt die grundlegenden Rechentechniken für die relevanten Typen von partiellen Differentialgleichungen vor. Das Verständnis des Stoffes wird durch das eigenständige Implementieren der erlernten Algorithmen in MATLAB vertieft. Die Studenten erlernen die Fähigkeit, die kommerziellen Rechenwerkzeuge, die in der industriellen Praxis in der Regel Anwendung finden, kritisch auszuwählen und zu nutzen.

Inhalt

- Übersicht über die Grundtypen von linearen partiellen Differentialgleichungen und ihre physikalische Bedeutung
- Grundzüge der Raum-Zeit-Diskretisation partieller Differentialgleichungen: Finite Differenzenverfahren, Finite Elementeverfahren, Finite Volumenverfahren.
- Diskussion verschiedener Typen numerischer Fehler
- Untersuchung der Konsistenz und Stabilität von Verfahren
- Anwendung auf praktische Beispiele: Konvektionsgleichung, Wärmeleitungsgleichung, Wellengleichung

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbstständige Programmierung der erlernten Algorithmen in MATLAB</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• W. Dahmen und A. Reusken: Numerik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer Verlag, 2008</li> <li>• G. Evans, J. Blackledge, P. Yardley: Numerical Methods for Partial Differential Equations, Springer Verlag, 2000</li> <li>• J.H. Ferziger, M. Peric: Numerische Strömungsmechanik, Springer Verlag, 2007</li> <li>• C. Grossmann, H.G. Roos: Numerik partieller Differentialgleichungen, Teubner-Verlag, 2005</li> <li>• P. Knabner, L. Angermann: Numerik partieller Differentialgleichungen, Springer Verlag, 2000</li> <li>• W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky und W.T. Vetterling: Numerical Recipes in Fortran (in C, in C++, in Pascal), Cambridge University Press</li> <li>• A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri: Numerische Mathematik 1 &amp; 2, Springer Verlag, 2000</li> <li>• H. Schwarz: Methode der Finiten Elemente, Teubner-Verlag, 1991</li> <li>• Josef Stoer, Roland Bulirsch: Numerische Mathematik 1 und 2, Springer Verlag, Berlin 1994, 1990</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 120 Minuten (Hilfsmittel: selbst angefertigte Mitschrift aus der Vorlesung (1x DIN A 4 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 1 Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Projektmanagement	1079

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch	Pflicht	0

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10791	VL	Projektmanagement	Wahlpflicht	2
10792	UE	Projektmanagement	Wahlpflicht	
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
keine

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden kennen die wesentlichen Parameter und Methoden zur erfolgreichen Planung, Durchführung und Überwachung von Projekten.</li> <li>Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, die Projektmanagement Tools MPM (Metra Potential Method) und MS-Project auf eine konkrete Aufgabenstellung anzuwenden.</li> <li>Die Studierenden können ein Projekt vom Projektantrag bis zum Projektabschluss selbständig durchführen.</li> </ul>

Inhalt
<p>Die Studierenden erhalten im Modul eine Einführung in die Thematik, spezifische Probleme und Lösungsansätze des Projektmanagements. Neben dem Erlernen von tools und der Vermittlung von Techniken wird ein besonderes Augenmerk auf eine ganzheitliche Betrachtung gelegt, die organisatorische, personale, wirtschaftliche und rechtliche Aspekte umfasst. Die Vorlesungsinhalte werden mittels eines Beispiels vertieft, bei dem die Studierenden ein kleines Projekt in allen Phasen erarbeiten müssen.</p> <p>Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Komplexes Problemlösen: Charakteristika von Problemen, komplexen Problemen und des Problemlöseprozesses; Projektmanagementals komplexes Problemlösen, Strategien im Umgang mit komplexen Problemen</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundbegriffe des Projektmanagements: Merkmale eines Projekts; Begrifflichkeit des Projektmanagements, Aufgaben eines Projektmanagers, das magische Dreieck im Projektmanagement</li> <li>• Projektorganisation: Überblick über Möglichkeiten der Aufbauorganisation, Vor- und Nachteile unterschiedlicher Organisationsformen</li> <li>• Methoden in der Projektstartphase: Projektumfeldanalyse, Projektdefinition, Projektstart</li> <li>• Projektplanung: Strukturpläne (Produktstruktur, Projektstruktur, Kontenstruktur), Methoden der Aufwandschätzung, Instrumente der Ablauf- und Terminplanung (Balkendiagramme, Netzplantechnik: CPM, PERT, MPM)</li> <li>• Projektkontrolle: Notwendigkeit von Projektkontrolle, Methoden der Projektkontrolle</li> <li>• Risikoanalyse und Risikomanagement</li> <li>• Verträge und Änderungswesen (Rechtliche Grundlagen, Bestandteile eines Vertrags, Änderungsprozesse)</li> <li>• Projektabschluss</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Burghardt, M.: Projektmanagement. Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Entwicklungsprojekten. 5. Auflage. Publicis MDC Verlag, 2000.</li> <li>• Fiedler, R.: Controlling von Projekten. Vieweg, 2001.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel). Es besteht die Möglichkeit, durch die Bearbeitung von Aufgaben und / oder Kurztests Bonuspunkte zu sammeln, die auf die Gesamtpunktzahl der Endklausur mit maximal 20% angerechnet werden.</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>Das Modul setzt die Studierenden in die Lage, als Projektleiter in kleinen bis mittleren Projekten zu fungieren und dabei Projekte selbstständig zu planen, zu überwachen, erfolgreich zu managen und zu einem Abschluss zu bringen. Dies gilt für alle technisch orientierten Projekte im Bereich Luftfahrt, Raumfahrt und Fahrzeugbau etc..</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.</p>

Modulname	Modulnummer
Prozessrechentchnik	1080

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10801	VL	Prozessrechentchnik	Pflicht	2
10802	UE	Prozessrechentchnik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Sinnvoll sind Grundlagenkenntnisse in einer höheren Programmiersprache und in Messtechnik

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden sollen

1. wissen wann und wofür ein Prozessrechner eingesetzt werden muss.
2. die wesentlichen Grundlagen des Hardware- Aufbaus von Prozessrechnern, sowie ihrer Daten Ein-/Ausgabe verstehen.
3. verstehen, wie ein Prozessrechner funktioniert.
4. einen Prozessrechner programmieren können.
5. die Anforderungen an Realzeitbetriebssysteme für die Steuerung bzw. Regelung verstehen.
6. die wesentlichen Programmier Techniken für Realzeitsysteme kennen.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Prozessrechentchnik das Grundwissen über den Aufbau, die Anwendung und die Bedeutung von Prozessrechnern. Warum basieren die meisten Steuergeräte für technische Prozesse nicht auf normalen Windows PCs? Was bedeutet „Echtzeitverhalten“ und welche Hard- und Software-Architekturen sind hierfür notwendig? Im Einzelnen behandelt das Modul:

1. Grundlagen der Automatisierung mit Prozessrechnern: Was sind Prozesse, technische Prozesse und Rechenprozesse. Besondere Kennzeichen von Prozessrechnern. Anforderungen industrieller Kommunikation. Typische

<p>Beispielszenarien und Anwendungsgebiete für Prozessrechner. Fragen der Zuverlässigkeit und Sicherheit.</p> <p>2. Hardware Aufbau von Prozessrechnern: Kennenlernen typischer Subsysteme und Komponenten (Prozessor, Prozessorarchitekturen, Speicher, Peripherie), Multitasking Unterstützung (Betriebsmodi, Speicherverwaltungssysteme, Threads), Ein-/Ausgabe-Architekturen (Bussysteme, Programmgesteuerte Ein-/Ausgabe, Unterbrechungssysteme, DMA), Prozessperipherie (Analog- und Digital-I/O, Pulsweitenmodulation, Real-zeituhren), Prozess- und Feldbussysteme.</p> <p>3. Realzeitverhalten: Anforderungen und Softwarearchitektur Verarbeitung mehrerer Prozesse, Rechnerauslastung, Scheduling, Prozessorzuteilung in Mehrprozessorsystemen. Realzeitanforderungen. Prioritätsgesteuertes Scheduling und Deadline Scheduling. Realzeitbetriebssysteme und Programmtechniken für Realzeitsysteme.</p>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Färber G.: Prozessrechentchnik. Grundlagen, Hardware, Echtzeitverhalten. Berlin: Springer, 1994</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung: 75 Minuten oder Mündliche Prüfung: 30 Minuten</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>Prozessrechner finden sich in nahezu allen technischen Systemen als programmierbare Steuergeräte. Aber auch viele moderne Anzeige- und Messsysteme selbst basieren auf Prozessrechnern, wie z.B. moderne elektronische Avioniksysteme. Fortgeschrittene Anwendungen wie Assistenzsysteme zur Fahrzeugführung oder die Zentralrechner autonomer technischer Systeme basieren auf Prozessrechnern.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.</p>

Modulname	Modulnummer
Raumfahrtantriebe	1081

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10811	VÜ	Raumfahrtantriebe	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Der Besuch der Vorlesung Aerothermodynamik, Raumfahrttechnik I und II wird empfohlen.

#### Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung der Raumfahrtantriebe bei technischen Problemstellungen hinsichtlich Machbarkeit, Technologie und zukünftigen Trends einordnen.
2. Die Studierenden können für einfache Anwendungsfälle Antriebskonzepte erstellen und berechnen.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, für die jeweiligen Anwendungen sinnvolle Konfigurationen vorschlagen zu können.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Raumfahrtantriebe das Grundwissen zu Raumfahrtantrieben und deren vielfältigen Anwendungsbereiche.

- 1) Die Studierenden erhalten eine Einführung in die Bedeutung der Raumfahrtantriebe bei Problemstellungen aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik.
- 2) Ausgehend von den theoretischen Grundlagen, werden praktische Probleme diskutiert bis hin zu Fertigungsaspekten, Komponenten und operationellen Aspekten. Es werden z.B. behandelt:

- Flüssigkeitsraketenantriebe
- Feststoffraketen

- Hybridraketen
- Luftatmer
- Elektrische Antriebe
- Zukunftskonzepte

3) Nach Möglichkeit werden in einer Exkursion Industriefirmen mit entsprechenden Produktionen besucht.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet insbesondere von Flugkörper- und Raumfluggeräten.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnik	1082

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Ferdinand Svaricek	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10821	VL	Regelungstechnik	Pflicht	2
10822	UE	Regelungstechnik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse in „Höhere Mathematik“, „Technische Mechanik“, „Messtechnik“, „Experimentalphysik“, „Allgemeine Elektrotechnik“ und „Steuer- und Regelungstechnik“ des LRT-Bachelor Studiums.

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Eingrößenregelkreise anhand der Wurzelortskurven beurteilen und durch Anpassung des Reglers gezielt verändern.</li> <li>2. Die Studierenden sind in der Lage die Stabilität eines Regelkreis anhand der Ortskurve und des Bodediagramms des offenen Kreises zu überprüfen.</li> <li>3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, Zustandsraummodelle von technischen Systemen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen aufzustellen und deren Eigenschaften zu analysieren.</li> <li>4. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, das dynamische Verhalten von Eingrößenregelkreise durch den Entwurf von linearen Zustandsrückführungen gezielt zu beeinflussen</li> </ol>

Inhalt
<p>Im Modul Regelungstechnik wird das in der Grundlagenvorlesung Steuer- und Regelungstechnik erworbene Grundwissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft und erweitert:</p> <p>1) Die Studierenden erhalten zunächst eine Einführung in die geometrische Stabilitätsanalyse mit Hilfe des Wurzelortskurvenverfahrens. Anschließend wird vermittelt, wie das WOK-Verfahren zur Synthese linearer dynamischer Regler eingesetzt werden kann.</p>

2) Anschließend lernen die Studierenden verschiedene Methoden für die Modellierung, Beschreibung und Analyse des Verhaltens von dynamischen Systemen im Frequenzbereich kennen:

- Frequenzgang,
- Ortskurve und Bodediagramm,
- Phasenminimum- und Allpaßsysteme,
- Stabilitätsprüfung mit Hilfe des Nyquistverfahrens,
- Stabilitätsrand (Amplituden- und Phasenrand).

3) Dann wird die Beschreibung und Analyse dynamischer Eingrößensysteme im Zustandsraum behandelt. Neben der Vorstellung der grundlegenden Begriffe und Definitionen (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden auch elementare Methoden zur Analyse des dynamischen Verhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und der Steuer- und Beobachtbarkeit sowie wichtige Normalformen (Diagonal-, Regelungs- und Beobachtungsnormalform, Kalman-Zerlegung) vermittelt.

4) Die Studierenden werden dann mit den Grundlagen zur Synthese linearer Zustandsregler vertraut gemacht. Dabei werden im Einzelnen die folgenden Aspekte behandelt:

- Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
- Zustandsbeobachter,
- Berücksichtigung von Störgrößen,
- erweiterte Regelungsstrukturen.

#### Literatur

- Lunze, J.: Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen, Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen. 5. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- Lunze, J.: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- Unbehauen, H.: Regelungstechnik. Band I. 13. Auflage. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 2005 .
- Unbehauen, H.: Regelungstechnik. Band II. 8. Auflage. Braunschweig: Vieweg und Sohn, 2000.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (30 Minute Fragenteil ohne Hilfsmittel und 60 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln außer programmierbaren Taschenrechner) oder mündliche Prüfung 30 Minuten.

**Verwendbarkeit**

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Steuer- und Regelungstechnik.

In diesem Studiengang:

- Voraussetzung für Teilnahme am Rechnerpraktikum „Regelungstechnik“
- Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Moderne Methoden der Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Flugführungssysteme“
- Voraussetzung für das Modul „Dynamik und Regelung von Satelliten“
- Voraussetzung für das Modul „Filter und Schätzverfahren“

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnisches Rechnerpraktikum	1083

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Ferdinand Svaricek	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10831	VÜ	Rechnerpraktikum: Regelungstechnik	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>MA-Modul „Kontinuierliche und digitale Regelungstechnik“</li> </ul>

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden können das dynamische Verhalten linearer und nichtlinearer Systeme mit Hilfe von Matlab/Simulink und den entsprechenden Toolboxen simulieren und validieren.</li> <li>Die Studierenden sind in der Lage die Eigenschaften linearer Systeme im Zeit- und im Frequenzbereich mit Hilfe von z.B. Matlab zu bestimmen.</li> <li>Die Studierenden werden in die Lage versetzt, Steuer- und Regelalgorithmen mit Matlab/Simulink zu realisieren und in der Simulation zu erproben.</li> <li>Die Studierenden lernen die gesamte Toolkette des Rapid Control Prototypings kennen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>Beschreibung von Steuer- und Regelalgorithmen mit Hilfe von Blockschaltbildern.</li> <li>Automatische Generierung und Optimierung von echtzeitfähigen C-Code für die Rapid Control Prototyping Steuergeräte.</li> <li>Online-Erfassung und Bearbeitung von Meßwerten.</li> <li>Online-Kalibrierung und Optimierung der Reglerparameter.</li> </ul> </li> </ol>

Inhalt
<p>Die Studierenden erwerben im Rechnerpraktikum „Regelungstechnik“ Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf Modellierung, Analyse, Auslegung und Realisierung von Steuer- und Regelungssystemen mit Hilfe moderner Rechnerwerkzeuge und Rapid Control Prototyping Systemen. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden lösen selbstständig vorgegebene Aufgaben aus den Bereichen Modellierung, Simulation, Identifizierung, Analyse und Entwurf von</li> </ul>

<p>Regelungssystemen mit Hilfe moderner Rechnerwerkzeuge wie z.B. Matlab/Simulink.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Studierenden lernen moderne Rapid Control Prototyping Systeme zur schnellen Realisierung und Erprobung von Steuer- und Regelalgorithmen einzusetzen.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitenavigation I	1084

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Bernd Eissfeller	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10841	VL	Globale Satellitenavigationssysteme	Pflicht	1
10842	UE	Globale Satellitenavigationssysteme	Pflicht	1
10843	VL	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	1
10844	UE	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	1
10845	VL	Schätzverfahren der integrierten Navigation	Pflicht	1
10846	UE	Schätzverfahren der integrierten Navigation	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik, Experimentalphysik, Messtechnik, Messtechnik und Regelungstechnik.

## Qualifikationsziele

Globale Satellitenavigationssysteme spielen in vielen Berufsfeldern, aber auch im privaten Bereich (Freizeit-Gestaltung) eine inzwischen sehr wichtige Rolle.

- Die Absolventen besitzen einen Überblick über die existierenden und zukünftigen (bzw. modernisierten) globalen Satellitenavigationssysteme (GNSS), sowohl über die wichtigen Grundlagen als auch über die Systemarchitektur und die Systemgliederung (Segmente).
- Weiterhin kennen sie Ergänzungssysteme und die Auswertemethodik. Die Anwendungen für zivile als auch militärische Nutzer sind ihnen bekannt.
- Sie haben durch die Lehrveranstaltung "Differentielle GNSS-Verfahren" fundierte Kenntnisse über die Methoden zur Verbesserung konventioneller GNSS Positionierungs-Techniken, inkl. der heute verfügbaren und für die Zukunft geplanten Entwicklungen einschließlich der militärischen Systeme, erworben.
- Im Rahmen des Abschnitts "DGNSS-Methoden" haben sie sich das Verständnis für die Datenverarbeitung, Algorithmen sowie das Fehlerbudget der differentiellen GNSS-Technik, was als Voraussetzung für die Erarbeitung der Realisierungskonzepte angesehen werden kann, erarbeitet.

- Sie haben Grundkenntnisse über Schätzverfahren in hybriden Navigationssystemen erworben.
- Sie verstehen das Zusammenwirken der verschiedenen Messwerte und den grundlegenden Rechengang des Kalman Filters.
- Sie verstehen das Zusammenwirken der verschiedenen Sub-Systeme und die zugrunde liegenden Technologien.
- Sie haben einen Überblick über die Multisensornavigation in verschiedenen Anwendungsbereichen (Schifffahrt, Landverkehr, Luftfahrt, Raumfahrt) erhalten.

## Inhalt

### 1) Globale Satellitenavigationssysteme (GNSS)

- Grundlagen: Referenzsysteme, Zeitsysteme, Satellitenorbits, Aufbau eines GNSS
- gegenwärtige Satellitenavigationssysteme: NAVSTAR GPS (USA), GLONASS (Russland); Weltraumsegment, Bodensegment und Nutzersegment (Empfänger)
- zukünftige Satellitenavigationssysteme: GALILEO (Europa), COMPASS (China); Abgrenzung zu den vorhandenen Systemen, GNSS Evolution Programme
- Ergänzungssysteme: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, QZSS u.a.
- Bestimmung von Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Zeit: Einführung in die Auswertung von GNSS-Daten (Standardpositionierung mit Code-Strecken, Auswertung von Doppler- oder Phasenmessungen zur Geschwindigkeits- und Beschleunigungsbestimmung, Zeittransfer)

### 2) Differentielle GNSS-Methoden (DGNSS)

- Einführung, Motivation und Zielsetzung für DGNSS
- Beobachtungsgleichungen, Fehlerbudget und Korrekturansätze
- LAAS (lokale differentielle Systeme) und WAAS („wide area“ Systeme)
- Hochpräzise Korrekturkonzepte
- Ansätze im wissenschaftlichen Bereich
- Militärisches DGNSS: JPALS, WAGE und Talon NAMATH
- Anwendungsspektrum

### 3) Schätzverfahren der integrierten Navigation

- Systemkonzept der Integrierten Navigation
- Multisensorsysteme und Redundanzkonzepte
- Sensoren und Messwerte der Navigation
- Kalman Filter: Lineares dynamisches Fehlermodell, Beobachtungsgleichungen, Ableitung des Optimalschätzers, Algorithmus, Elementares Beispiel, numerisch stabile Formen

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendung bei der GPS/INS Integration: Lose Kopplung (Loosely Coupling), Enge Kopplung (Tightly Coupling), Ultraenge Kopplung (Ultra - Tightly Coupling), Tiefe Kopplung (Deeply Coupling)</li> <li>• Beispiele und Leistungsfähigkeit Integrierter Navigationssysteme in Schifffahrt, Luftfahrt, Landverkehr und Raumfahrt</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Brown R.G., Hwang P.Y.C.: Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering. 3rd edition. New York: John Wiley &amp; Sons, 1997.</li> <li>• ESA (Hrsg): EGNOS - the European geostationary navigation overlay system. Noordwijk: ESA Publications Division, 2006.</li> <li>• Hofmann-Wellenhof B.: GNSS - Global Navigation Satellite Systems. Wien: Springer-Verlag, 2008.</li> <li>• Lawrence A.: Modern Inertial Technology - Navigation, Guidance and Control. Berlin: Springer-Verlag, 1998.</li> <li>• Leick A.: GPS satellite surveying. New York: Wiley, 1995.</li> <li>• Misra P., Enge P.: Global Positioning System - Signals, Measurements, and Performance. Second Edition. Lincoln, MA, USA: Ganga-Jamuna Press, 2006.</li> <li>• Parkinson B.W., Spilker J.J. (Hrsg): Global Positioning System - Theorie and Applications, Volume 1. Progress in Astronautics and Aeronautics, Volume 163. Cambridge, 1996.</li> <li>• Parkinson B.W., Spilker J.J. (Hrsg): Global Positioning System - Theorie and Applications, Volume 2. Progress in Astronautics and Aeronautics, Volume 164. Cambridge, 1996.</li> <li>• Seeber G.: Satellite geodesy. Berlin: Verlag de Gruyter, 2003.</li> <li>• Titterton D.H., Weston J.L.: Strapdown inertial navigation technology. AIAA, 2005.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) oder mündliche Prüfung 30 Minuten.
<b>Verwendbarkeit</b>
Erweiterung des Grundwissens im Gebiet "Satellitenavigation" um Kenntnisse der existierenden und zukünftigen Systeme sowie um die wichtigen Verfahren der differentiellen Positionierung, die im zivilen und militärischen Bereich zu Erzielung höherer Genauigkeiten sowie zur Verbesserung der Integrität eine hohe Bedeutung haben. Spezialkenntnisse auf dem (zivil und) militärisch wichtigen Gebiet der hybriden Navigation.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Satellitenavigation II</b>	1085

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Bernd Eissfeller	Wahlpflicht	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
210	96	114	7

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10851	VL	GNSS Nutzersegment	Pflicht	2
10852	UE	GNSS Nutzersegment	Pflicht	1
10853	VL	Weltraumwetter	Pflicht	1
10854	UE	Weltraumwetter	Pflicht	1
10855	VL	Satellitenkommunikation	Pflicht	2
10856	UE	Satellitenkommunikation	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>8</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik, Experimentalphysik, Raumfahrttechnik.

## Qualifikationsziele

Die Absolventen besitzen vertiefte Kenntnisse in zwei modernen Teilgebieten.

- Sie verstehen die Funktion eines GNSS Empfängers und sind sich über unterschiedliche Empfängerimplementierungen klar.
- Die Studierenden besitzen Grundkenntnisse über die Weltraumnutzung durch "Satellitenkommunikation".
- Sie verstehen das Zusammenwirken der verschiedenen Sub-Systeme und die zugrunde liegenden Technologien.
- Sie haben einen Überblick über die Multisensornavigation in verschiedenen Anwendungsbereichen (Schifffahrt, Landverkehr, Luftfahrt, Raumfahrt) erhalten.
- Sie verstehen den grundlegenden Designprozess der Satellitenkommunikation und sind in der Lage, solche Systeme zu bemessen.
- Sie haben praktische Erfahrungen in der Satellitenkommunikation durch die Inbetriebnahme einer VSAT Station und von Mobilterminals erworben.
- Die Studierenden kennen die Fähigkeiten und Grenzen sowie die wirtschaftliche Bedeutung der Satellitenkommunikation.
- Sie haben Kenntnisse über die Phänomene, Beobachtung und Vorhersage des Weltraumwetters sowie den Auswirkungen auf Satellitensysteme erworben.

## Inhalt

### 1) GNSS Nutzersegment

- Empfängertechnik- und -technologien
- geschichtliche Entwicklung
- Komponenten eines GNSS Empfängers und ihre Bedeutung
- analoge und digitale Baugruppen

### Signalverarbeitung

- Signalverarbeitung im GNSS Empfänger, Korrelation, DLL und PLL, Fehler, Multipath

### Hardware- vs. Software-Empfänger

- Konzepte
- Unterschiede
- Vor- und Nachteile

### GNSS Empfänger - Übersicht

- zivile Empfänger
- militärische Empfänger

### 2) Satellitenkommunikation

- Einführung und Hintergrund
- Bahn- und Konstellationsaspekte
- Raumtransport und Satellitenplattform
- Grundlagen der Kommunikationstechnik: Link Bilanz, Modulation, Zugriffsverfahren (CDMA, FDMA, TDMA), Kodierung, Ausbreitungseffekte
- Kommunikationsnutzlast
- Bodenstationen, VSATs, Netze
- Dienste der Satellitenkommunikation (INMARSAT, INTELSAT, INTERSPUTNIK, EUTELSAT, IRIDIUM, GLOBALSTAR, u.a.)
- Entwicklungsstand und Trends

## 3) Weltraumwetter

- Einführung in die Thematik
- Bedeutung des Weltraumwetters für Satellitensysteme und Bodeninfrastruktur auf der Erde
- Die Sonne als Antrieb für das Weltraumwetter (Phänomene und Überwachung)
- Die Ionosphäre (Aufbau, Phänomene und Beobachtung unter bes. Berücksichtigung der GNSS-basierten Datenverarbeitung)
- Systemtechnische Aspekte (Übersicht über die Auswirkungen des Weltraumwetters auf Teilsysteme von Raumfahrzeugen, Strahlungsanalysen und Schutzmaßnahmen).

## Literatur

- Kaplan E.D., Hegarty Ch. (Editor): Understanding GPS - Principles and Applications. Boston: Artech House Publishers, 2005.
- Borre K., Akos D.M., Bertelsen N., Rinder P., Jensen, Sören H.: A Software-Defined GPS and GALILEO Receiver. Boston: Birkhäuser, 2007.
- Lawrence A.: Modern Inertial Technology - Navigation, Guidance and Control. Berlin: Springer-Verlag, 1998.
- Titterton D.H., Weston J.L.: Strapdown inertial navigation technology. AIAA, 2005.
- Brown R.G., Hwang P.Y.C.: Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- Calcutt D., Tetley L.: Satellite Communications: Principles and Applications. London: Edward Arnold Verlag, 1994.
- Roddy D.: Satellite Communications. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill, 1995.
- Richararia M.: Satellite Communication Systems: Design Principles. New York: McGraw-Hill, 1995.
- Maral G., Bousquets M.: Satellite Communications Systems, West Sussex: John Wiley & Sons, 1995.
- de Re E., Ruggieri M.: Satellite Communications and Navigation Systems. Springer Science, 2008.
- Dodel H., Eberle S.: Satellitenkommunikation. Berlin: Springer Verlag, 2007.

## Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten( Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner)  
oder mündliche Prüfung 30 Minuten

## Verwendbarkeit

Erweiterung des Grundwissens für die Gebiete Raumfahrttechnik und Satellitenavigation. Verständnis der Konzepte bei militärischen und zivilen

GNSS. Erarbeitung von Spezialwissen für die Vorlesungen in den Schwerpunkten  
Flugführungssysteme und Autonome Systeme.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres  
statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitensysteme	1086

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Roger Förstner	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10861	VL	Satellitensysteme	Pflicht	2
10862	UE	Satellitensysteme	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen (Höhere Mathematik, Experimentalphysik, Technische Mechanik I-II, Strömungsmechanik, Thermodynamik, Allgemeine Elektrotechnik, Werkstoffkunde).

Qualifikationsziele
<p>Die Studierenden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Können die Besonderheiten verschiedener Raumfahrtmissionen aus systemtechnischer Sicht beurteilen.</li> <li>• Können die Einflüsse der Weltraumumgebung auf das Design von Satellitensystemen einschätzen</li> <li>• haben ein grundlegendes Verständnis für alle Subsysteme von Satelliten</li> <li>• können für alle Subsysteme eine erste quantitative Auslegung durchführen</li> </ul>

Inhalt
<p>In dieser Vorlesung werden die wichtigsten Subsysteme, aus denen ein Satellit aufgebaut ist, vertieft betrachtet. Nach einer Darstellung der verschiedenen Segmente (Boden-, Transfer-, Raumsegment) aus denen eine Raumfahrtmission besteht und deren Verknüpfungen, werden zunächst die wichtigsten technischen Aspekte verschiedener Klassen von Raumfahrtmissionen (Erdbeobachtung, Telekommunikation, Navigation, planetaren und interplanetaren Exploration) und ihr Einfluss auf den Entwurf von Satellitensystemen erarbeitet. Nachfolgend werden die Besonderheiten der Weltraumumgebung dargestellt. Es wird der Einfluss des Vakuums, der kosmischen Strahlung, des Sonnenwindes, der planetaren Atmosphären und Magnetfelder auf Raumfahrzeuge beleuchtet und mögliche designtechnische Lösungen vorgestellt. Es werden dann die wichtigsten Subsysteme von Satelliten im Einzelnen untersucht (Energieversorgung, Lage- und Bahnregelung, Antriebe, Struktur und Mechanismen,</p>

Thermalregelung, Datenverarbeitung, Kommunikation). Dabei werden zunächst die theoretischen Grundlagen erarbeitet, dann verschiedene technische Lösungen vorgestellt und abschließend gezeigt, wie eine erste qualitative und quantitative Auslegung des Subsystems vorgenommen werden kann.  
Die Gliederung der Vorlesung sieht wie folgt aus:

1. Raumfahrtmissionen aus systemtechnischer Sicht
2. Einfluss der Weltraumumgebung auf Raumfahrzeuge
3. Satellitensubsysteme: Energieversorgung, Antriebssysteme, Lage- und Bahnregelung, Thermalregelung, Datenverarbeitung, Kommunikation, Mechanismen, Konfiguration und Struktur

#### Literatur

- Ley, Wittman, Hallmann: Handbuch der Raumfahrttechnik
- Wertz J.R., Larson W.J.: Space Mission Analysis and Design

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

- 30 Minuten Frageteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Skript, Formelsammlung, Taschenrechner

#### Verwendbarkeit

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen, angewandte Forschung sowie Projektmanagement auf dem Gebiet der Raumfahrt.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen</b>	1088

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Hans-Joachim Gudladt	Pflicht	1

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10881	VL	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	2
10882	UE	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Bachelor-Studium
Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studenten gewinnen einen Einblick in das Materialverhalten von 1- und 2-phasigen Leichtmetallen sowohl unter monotoner als auch unter schwingender Belastung.</li> <li>Sie lernen, mittels bruchmechanischer Hilfsmittel die Grenzen der Einsetzbarkeit von Werkstoffen zu bewerten.</li> <li>Darüber hinaus wird ihnen das Handwerkszeug der linearelastischen Bruchmechanik (LEBM) mitgegeben, um die Lebensdauer von vorgeschädigten und rissbehafteten Bauteilen abschätzen zu können.</li> </ul>
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>Im ersten Abschnitt des Moduls erhalten die Studenten eine grundlegende Einführung in die LEBM. Dabei werden die Grenzen der Anwendbarkeit im Hinblick auf duktil verformbare Werkstoffe wie z.B. Metalle, aufgezeigt. Es werden Kriterien angegeben die es erlauben, technische metallische Werkstoffe mittels der Bruchmechanik z.B. unter Berücksichtigung der Bruchzähigkeit zu qualifizieren. Zum Abschluss des Abschnitts wird das Versagen rissbehafteter Bauteile auf der Grundlage des sogenannten R-Kurvenkonzeptes behandelt. Dieses eröffnet den Studenten die Möglichkeit, sowohl für spröde Werkstoffe, wie Keramiken, als auch für duktile Werkstoffe, wie Metalle, das Materialversagen im Hinblick auf außen anliegende Kräfte und vorgegebene Risslängen für ein Bauteil rechnerisch abzuschätzen.</li> <li>Im 2. Abschnitt lernen die Studenten das Materialverhalten unter schwingender Beanspruchung kennen. Man spricht hier von sogenannter Materialermüdung. Dabei wird sowohl dem Aspekt der Gesamtlebensdauer als auch dem der Le-</li> </ul>

Lebensdauer angerissener Bauteile breiter Raum gewidmet. Letzteres ist im Sinne des Leichtbaukonzeptes für die Bauteilauslegung unerlässlich. Die Studenten lernen dabei, auf der Basis der Bruchmechanik die Rißausbreitung als Funktion der äußeren Beanspruchung zu erfassen und können daraus die Lebensdauer eines Bauteils näherungsweise bestimmen.

- Im letzten Teil der Vorlesung wird auf den Einfluss der Mittelspannung und der Kerbgeometrie im Hinblick auf die Rissausbreitung eingegangen. Darüber hinaus wird das Verhalten der sogenannten kurzen Risse besprochen, die sich der klassischen Bruchmechanik entziehen.

#### Literatur

- Broek D.: Elementary Engineering Fracture Mechanics. 5th rev. ed. Martinus Nijhoff Publishers, 1982.
- Schwalbe K.-H.: Bruchmechanik metallischer Werkstoffe. Carl Hanser Verlag, 1980.
- Heckel K.: Einführung in die technische Anwendung der Bruchmechanik. Carl Hanser Verlag, 1991.
- Suresh S.: Fatigue of materials. Cambridge Solid State Science Series, 1991.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für die Bewertung vorgeschädigter Bauteile im Hinblick auf ihre weitere Verwendbarkeit. Darüber hinaus lassen sich mit Hilfe der entwickelten Lebensdauerkonzepte metallische Strukturwerkstoffe im Sinne des Leichtbaukonzeptes optimieren.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Strukturdynamik</b>	1089

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Helmut Rapp	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10891	VÜ	Strukturdynamik	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Festigkeitslehre" und "Schwingungslehre"

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden kennen die wesentlichen Verfahren zur Lösung der klassischen Schwingungsgleichungen für Strukturen mit kleiner Dämpfung und einer beliebigen Zahl von Freiheitsgraden.
- Die Studierenden können mit den Begriffen "Eigenfrequenz", "Eigenform", "Modale Masse", "Modale Steifigkeit", und "Modale Dämpfung" umgehen. Sie wissen, Aufgabenstellungen in "Frequenzbereich" bzw. "Zeitbereich" einzuordnen.
- Die Studierenden kennen den Unterschied zwischen einer analytischen und einer numerischen Lösung der Schwingungsgleichung und können die zugehörigen Verfahren einsetzen.
- Sie sind in der Lage, für ein gegebenes physikalisches Problem ein geeignetes mathematisches Ersatzmodell zu erstellen und dieses mit geeigneten Methoden zu lösen.
- Die Studierenden können für einfache Aufgabenstellungen geeignete Näherungsverfahren einsetzen, um schnell erste Aussagen bzgl. des dynamischen Verhaltens von Strukturen machen zu können.

#### Inhalt

Die Studierenden erhalten im Modul "Strukturdynamik" vertiefende Kenntnisse über das dynamische Verhalten von Strukturen unter dynamischer Belastung. Schwerpunkt bilden die Verfahren zur Ermittlung der Beanspruchung unter periodischer und transienter Belastung bei kleiner Strukturdämpfung.

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Erzwungene Schwingungen von Masse-Feder-Systemen mit einem FHG analytische Lösungen,

numerische Lösungen der Bewegungsgleichung.

- Erzwungene Schwingungen von Systemen mit vielen Freiheitsgraden  
Eigenfrequenzen, Eigenformen,  
Systematisches Aufstellen der Bewegungsgleichung,  
Erstellung der Steifigkeitsmatrix,  
Massenmatrix,  
Reduktion von Freiheitsgraden,  
Orthogonalität der Eigenvektoren, Entkopplung der Bewegungsgleichungen,  
Gedämpfte Schwingungen, Dämpfungsmodelle,  
Numerische Integration der Bewegungsgleichungen, Newmark- $\beta$ -Verfahren,  
Darstellung der Schwingungen im Zustandsraum,  
Allgemeines zur dynamischen Analyse von Strukturen.
  
- Näherungsverfahren  
Biegeschwingungen,  
Torsionsschwingungen,  
Gekoppelte Biege-Torsionsschwingungen,  
Ritzsches Verfahren,  
Galerkinsches Verfahren.
  
- Experimentelle Modalanalyse.

#### Literatur

- Gasch R., Knothe K.: Strukturdynamik. Berlin: Springer-Verlag, 1987.
- Hart G.C., Wong K.: Structural Dynamics for Structural Engineers. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1999.
- Craig R.R., Kurdila A.J.: Fundamentals of Structural Dynamics, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2006.
- Lalanne Ch.: Mechanical Vibration and shock Analysis. Volume 1: Sinusoidal Vibration. London: ISTE Ltd. and John Wiley & Sons Inc., 2009.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (30 Minuten Fragenteil ohne Hilfsmittel, 60 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

#### Verwendbarkeit

Das Modul vertieft die Inhalte der Schwingungslehre. Es bietet Methoden zur Analyse von anspruchsvollen Problemen der Strukturdynamik aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik. In der Luft- und Raumfahrttechnik sind die Inhalte notwendig im Bereich der Entwicklung von Strukturen.

### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

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

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. Michael Pfitzner	Pflicht	1

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
<ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, auch komplexere Wärmeübertragungsprobleme mittels analytischen Methoden zu analysieren und damit numerische Thermalsimulationen zu verifizieren.</li> <li>3. Die Studierenden besitzen ein vertieftes Verständnis der Eigenschaften der Wärmeübertragungsarten und deren physikalischem Hintergrund.</li> <li>4. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, kombinierte Wärme- und Stofftransportproblemstellungen selbstständig unter Verwendung von Standardliteratur zu lösen.</li> </ol>

Inhalt
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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</li> </ul>

<p>der Antriebs- und Raumfahrttechnik gegeben, in denen die Wärme- und Stoffübertragung eine wichtige Rolle spielt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nach einer kurzen Erläuterung der einfachen Berechnungsmethoden für die Wärmeleitung werden die Studierenden mit komplexeren analytischen Berechnungsmethoden vertraut gemacht.</li> <li>• Mit den Studierenden werden Maßnahmen zur Erhöhung des Wärmeübergangs, insbesondere auch durch Erhöhung der übertragenden Oberfläche, diskutiert.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• Beispiele gekoppelter Problemstellungen mit Wärmeleitung, konvektivem Wärmeübergang und Phasenwechsel vertiefen die Fähigkeiten der Studierenden.</li> <li>• 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.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
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.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Weltraumphysik	1091

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Roger Förstner	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10911	VL	Weltraumphysik	Pflicht	2
10912	UE	Weltraumphysik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in Höherer Mathematik sowie in der Regelungstechnik.

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden können die in der Vorlesung behandelten Themen der Weltraumphysik (Zeit- und Koordinatensysteme, Geopotenzial, Bahnmechanik, Bahnbestimmung, Bahntransfer) zeitgemäß einordnen.
- Die Studierenden lernen Berechnungsverfahren zur Bahnbestimmung im erdnahen und im interplanetaren Raum anzuwenden und Messverfahren (wie Doppler- und Ranging-Verfahren) zu verstehen.
- Die Studierenden wissen die aus der Störungstheorie folgenden Auswirkungen auf Satellitenbahnen zu berechnen und deren Bedeutung für die Durchführung von Raumfahrtmissionen einzuschätzen.
- Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, Berechnungen für Bahntransfer-Manöver im interplanetaren Raum vorzunehmen und dabei das Konzept der Einflussphären anzuwenden.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Weltraumphysik die für die Auslegung von Raumflugmissionen wichtigen Zusammenhänge unterschiedlicher Zeit- und Koordinatensysteme kennen.  
Es werden Methoden der Bahnbestimmung (Winkel, Doppler- und Laufzeitverfahren) zur Bestimmung der Bahnelemente vorgestellt. Das Gravitationspotenzial eines ausgedehnten Körpers wird abgeleitet, das Mehrkörperproblem sowie die Grundlagen

der Störungstheorie werden am Beispiel erdnaheer und geostationärer Bahnen behandelt; ebenso wichtige Berechnungsmethoden und missionstechnische Konzepte, wie die „Einflusssphäre“, „Patched Conics“ Methode und „Gravity Assist“ Manöver, die beim interplanetaren Bahntransfer Anwendung finden.

Die Vorlesung gliedert sich in:

- Bezugssysteme und Zeitreferenz
- Keplerbahn, Bahnelemente, Bahnübergänge
- Bestimmung von Satellitenbahnen
- Bahnstörungen
- Spezielle Satellitenbahnen
- Interplanetare Bahnen
- Interplanetarer Transfer

#### Literatur

- Curtis: Orbital Mechanics for Engineering Students
- Steiner, Schagerl: Raumflugmechanik
- Messerschmid, Fasoulas: Raumfahrtsysteme
- Ley, Wittman, Hallmann: Handbuch der Raumfahrttechnik

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

- 30 Minuten Frageteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Skript, Formelsammlung, Taschenrechner

#### Verwendbarkeit

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen sowie angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Dynamik und Lageregelung von Satelliten.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Personal-Management und -Führung</b>	1199

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11991	VL	Personalmanagement und -führung 1	Pflicht	2
11992	UE	Personalmanagement und -führung 1	Pflicht	2
11993	SE	Personalmanagement und -führung 2 (Dauer 2,5 Tage)	Pflicht	0
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
keine

Qualifikationsziele
<p>Die Studierenden haben die grundlegenden Qualifikationen einer Führungskraft der unteren bis mittleren Ebene im Bereich Personalführung.</p> <p>Sie beherrschen die Grundlagen und Methoden der Personalauswahl, Theorien der Arbeitsmotivation und Mitarbeiterführung sowie ihre Anwendung.</p> <p>Sie kennen die grundlegenden Mechanismen menschlicher Kommunikation und effizienter Verhandlungsführung (Harvard-Konzept).</p>

Inhalt
<p>Grundlagen der Personalauswahl</p> <p>Wert und Aussagekraft von Tests auf der Basis der Klassischen Testtheorie (Reliabilität, Validität, Grundrate, Selektionsrate) sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der Auswahl werden aufgezeigt. Die Funktionsweise und Validität von Assessment-Centern wird erläutert.</p>

### Arbeitsmotivation und Führung

Theorien der Arbeitsmotivation werden dargestellt und bezüglich ihrer Bedeutung für die Praxis der Mitarbeiter-Motivation erläutert. Als Führungstheorien werden neben einer kurzen Darstellung der Persönlichkeitstheorien der Führung und ihrer Probleme vor allem verhaltensorientierte Führungstheorien behandelt. Die Studierenden erhalten die Gelegenheit, ihr eigenes Führungsverhalten zu analysieren. Darauf aufbauend werden die Weg-Ziel-Theorie und das GRID-System ausführlicher dargestellt und an konkreten Beispielen geübt.

### Kommunikation und Verhandlungsführung

Ausgehend von den Grundlagen menschlicher Kommunikation (vor allem Watzlawick) werden folgende Themen behandelt: Soziale Wahrnehmung und Eindrucksbildung, verbale und nonverbale Kommunikation, Frage-Techniken, Umgang mit unfairer Kommunikation. Verhandlungsführung geht vor allem vom Harvard-Konzept zum sachbezogenen Verhandeln aus (Fisher und Ury).

Die Veranstaltung wird abgerundet durch ein 2,5 tages Kompaktseminar, bei dem die Studierenden den Stoff vertiefen und in Kleingruppen Moderations-, Argumentations- und Verhandlungstechniken konkret anwenden.

### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel). Es besteht die Möglichkeit, durch die Bearbeitung von Aufgaben und / oder Kurztests Bonuspunkte zu sammeln, die auf die Gesamtpunktzahl der Endklausur mit maximal 20% angerechnet werden.

### Verwendbarkeit

Künftige technische Fach- und Führungskräfte benötigen neben technischem Wissen die Fähigkeit, Mitarbeiter anzuleiten, Gruppensitzungen zu moderieren, Konflikte in der Arbeitsgruppe zu lösen und mit Kunden zu kommunizieren und zu verhandeln. Die Basiskenntnisse zur Erfüllung dieser Anforderungen werden durch die Veranstaltung Personalmanagement und -Führung geschaffen.

### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es beginnt im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres.

Modulname	Modulnummer
<b>Methoden in der Produktentwicklung</b>	1423

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
	Pflicht	2

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10741	VL	Methoden in der Produktentwicklung	Pflicht	4
10742	UE	Methoden in der Produktentwicklung	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

## Qualifikationsziele

- Vermittlung von Kenntnissen über Grundlagen der Entwicklungsmethodiken in den Ingenieurwissenschaften
- Erlernen einer methodischen, zielgerichteten Arbeitsweise zur Entwicklung technischer Systeme
- Neben der Vorstellung der Methoden werden Kenntnisse über geeignete Hilfsmittel und Werkzeuge zur Lösungsfindung bereitgestellt, die anhand praxisnaher Beispiele angewendet werden
- Die Lehrveranstaltung soll einen Überblick über die vielfältigen Möglichkeiten der Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung und deren Grenzen aufzeigen

## Inhalt

## Allgemeine Betrachtung

- Motivation; Bedeutung und Aufgabenfelder der Produktentwicklung
- Einordnung der Produktentwicklung in Markt/Unternehmen/Gesellschaft
- Systemtheoretische Ansätze zur Beschreibung technischer Systeme
- Integrierte Produktentwicklung

## Prozessgestaltung

- Strukturierung von Entwicklungsprozessen: operative und strategische Vorgehensmodelle
- Prozessgestaltung für interdisziplinäre Entwicklungsaufgaben

- Darstellung der Phasen und Beschreibung der typischen Handlungen im Produktentwicklungsprozess an einem Beispiel

#### Methodenunterstützung in der Produktentwicklung

- Strukturierung der Methoden auf Basis des Problemlösungszyklus
- Darstellung von methodischem Vorgehen für Synthese, Analyse und Bewertung von technischen Lösungen
- Aspekte und Bedeutung von DfX als Möglichkeit zum Wissensmanagement in der Entwicklung
- Vorgehensweise und Methoden zum Variantenmanagement

#### Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung

- Produktdatenmanagement: Methoden zur Aufbereitung und der Daten- und Informationsflüsse im Entwicklungsprozess
- CAx-Werkzeugen zur Methodenunterstützung; Einordnung der CAx-Werkzeuge in den Produktentwicklungsprozess

#### Literatur

- Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Gote H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2013.
- Ehrenspiel K.: Integrierte Produktentwicklung Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 5. Auflage. Hanser Fachbuchverlag, 2013.
- Lehner F.: Wissensmanagement. Grundlagen, Methoden und technische Unterstützung. 5. Auflage. Hanser Fachbuchverlag, 2014.
- Eigner M., Stelzer R.: Produktdatenmanagement-Systeme: Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2. Auflage. Berlin: Springer Verlag, 2009.

<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung mit 90 Minuten Dauer oder mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer am Ende des Herbsttrimesters. Die Art der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.</p> <p>Wiederholungsmöglichkeit zum Ende des 1. Quartals.</p> <p>Für die Prüfung darf eine einseitig selbstständig handbeschriebene DIN A4-Seite zur Unterstützung verwendet werden.</p> <p>Die zweite Wiederholungsprüfung kann seitens des Dozenten als mündliche Prüfung (Dauer: 30 Minuten) abgehalten werden.</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>Das Modul Methoden der Produktentwicklung stellt die Grundlagen für ein strukturiertes Herangehen zur Lösung von komplexen Entwicklungsaufgaben sowohl für konstruktive Tätigkeiten während des Studiums als auch für spätere Einsatzgebiete in den verschiedenen Bereichen der Produktentwicklung. Kenntnisse aus diesem Modul sind verwendbar in den Modulen Rechnerintegrierte Produktion und Integrierte Produktionsplanung.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert 1 Trimester. Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Herbsttrimester.</p>

Modulname	Modulnummer
<b>Forschungsmethoden</b>	1800

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold	Pflicht	0

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18001	VÜ	Forschungsmethoden	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Qualifikationsziele
<p>Die Studierenden lernen wissenschaftliches Arbeiten und können eigenständig empirisch überprüfbare Hypothesen formulieren.</p> <p>Sie können die wichtigsten quantitativen und qualitativen Methoden und Instrumente einsetzen und selbstständig Forschungsdesigns entwickeln.</p> <p>Die Studierenden sind in der Lage, empirische Studien kritisch zu reflektieren und evaluieren.</p>
Inhalt
<p>Die Studierenden erwerben in diesem Modul Kenntnisse zur Formulierung und empirisch experimentellen Überprüfung wissenschaftlicher Fragestellungen.</p> <p>Behandelte Themen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgaben der empirischen Forschung</li> <li>• Hypothesengewinnung &amp; Theorienbildung</li> <li>• Klassische Testtheorie: Reliabilität, interne und externe Validität</li> <li>• Messtechnische Operationalisierung von Variablen</li> <li>• Empirisch-quantitative Exploration</li> <li>• Grundprinzipien der statistischen Hypothesenprüfung</li> <li>• Überprüfung von Minimum-Effekt-Nullhypothesen</li> <li>• Veränderungshypothesen für Entwicklungen und Zeitreihen</li> <li>• Unterschiedshypothesen: Kontrolltechniken, faktorielle Pläne, Multivariate Pläne und Pläne mit Kontrollvariablen</li> <li>• Zusammenhangshypothesen: Bivariate, Multivariate und kausale Zusammenhänge</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Festlegung von Effektgrößen und Stichprobenumfängen</li><li>• Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung</li><li>• Inferenzstatistische Methoden der Datenanalyse</li><li>• Analyse qualitativer Daten</li><li>• Versuchsethik &amp; gute wissenschaftliche Praxis</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bortz, J. &amp; Döring, N. (2006) Forschungsmethoden und Evaluation. 4. Auflage. Springer Verlag.</li><li>• Picardi, C. A. &amp; Masick, K. D. (2014) Research Methods. Designing and conducting research with a real-world focus. SAGE Publications.</li><li>• Nachtigall, C. &amp; Wirtz, M. (2006) Wahrscheinlichkeitsrechnung und Inferenzstatistik. 4. Auflage. Juventa Verlag.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel).
<b>Verwendbarkeit</b>
Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit. Wissenschaftstheoretische Kenntnisse und Praxiserfahrung bei der Durchführung, Auswertung und Berichterstellung von Nutzerstudien. Fähigkeit zur Bewertung publizierter Forschungsergebnisse.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Innovationsmanagement	1801

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil., Dr. mont. Eva-Maria Kern	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10391	VL	Innovationsmanagement	Pflicht	4
10392	UE	Innovationsmanagement	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

## Qualifikationsziele

Die Studierenden kennen die wesentlichen Aspekte des Innovationsmanagements und wissen, wie Innovationsprozesse ablaufen. Sie sind in der Lage, relevantes Wissen sowie wichtige Wissensquellen zu identifizieren. Sie sind sich der Konzepte und gestalterischen Möglichkeiten zur Integration von Wissens- und Innovationsmanagement bewusst und sind dadurch befähigt, Innovationsprozesse in der Praxis zu verstehen, zu analysieren und zu gestalten.

## Inhalt

In diesem Modul erwerben die Studierenden einerseits grundlegende Kenntnisse über Aspekte, Aufgaben, Konzepte und Methoden des Innovationsmanagements, andererseits wird ihnen die Bedeutung des Wissensmanagements im Kontext des betrieblichen Innovationsprozesses vermittelt.

Einleitend wird der Innovationsbegriff definiert sowie die Rolle von Innovationen im Unternehmenskontext dargestellt. Ziele, Aufgaben und Erfolgsfaktoren des Innovationsmanagements werden beschrieben.

Im Anschluss wird erläutert, wie und mit welchen Beteiligten Innovationsprozesse in und zwischen Unternehmen verlaufen, bzw. wie das Management derartiger Prozesse erfolgt. Zudem erhalten die Studierenden einen Einblick in die Organisation der betrieblichen Innovationsfunktion.

Darauf aufbauend wird die Relevanz von Wissen und intellektuellem Kapital für die Durchführung des Innovationsprozesses als wissensintensiven Prozess näher beleuchtet. Wissensbedarfe und mögliche unternehmensinterne bzw. externe Wissensquellen werden identifiziert. Abschließend werden Konzepte zur Integration von Wissens- und Innovationsmanagement vorgestellt und anhand praktischer Beispiele aus unterschiedlichen Branchen illustriert.

In der begleitenden Übung werden anhand von Praxisbeispielen aus unterschiedlichen Branchen von den Studierenden Innovationsprozesse und deren Beteiligte analysiert

und eigenständige Konzepte zur Integration von Innovations- und Wissensmanagement erarbeitet.

#### Literatur

- Hauschildt, J. (2004). Innovationsmanagement. 3. Aufl. ed. München: Vahlen North, Klaus (2002): Wissensorientierte Unternehmensführung - Wertschöpfung durch Wissen, 3. Auflage, Wiesbaden
- Völker, R., Sauer, S., Simon, M. (2007): Wissensmanagement im Innovationsprozess. Heidelberg: Physika-Verlag

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung im Umfang von 120 Minuten oder Notenschein für studienbegleitende Leistungen. Die genaue Form des Leistungsnachweises wird am Anfang des Moduls bekannt gegeben.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Ausgewählte Probleme im militärischen Einsatz von Werk- und Betriebsstoffen</b>	1153

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. Sebastian Eibl	Zusatzfach	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11531	VL	Ausgewählte Probleme im militärischen Einsatz von Werk- und Betriebsstoffen	Pflicht	2
11532	UE	Ausgewählte Probleme im militärischen Einsatz von Werk- und Betriebsstoffen	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse in Werkstoffkunde/Chemie, Experimentalphysik und Technischer Mechanik.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden kennen die Methodik und die Vorgehensweise bei Schadensuntersuchungen und mögliche Reparatur- und Instandsetzungsmaßnahmen an Bauteilen.
- Damit eng verbunden, besitzen die Studierenden Kenntnisse über unterschiedliche, in der Praxis eingesetzte Analyse- und Meßverfahren. Sie können anhand ausgewählter Problemstellungen das geeignete Verfahren auswählen und dabei dessen Vor- und Nachteile im Einsatz abwägen.
- Anhand unterschiedlicher Beispiele aus der Praxis des Wehrwissenschaftlichen Instituts für Werk- und Betriebsstoffe (WIWeB), die den Studierenden im Rahmen des Moduls vorgestellt werden, wissen Sie, wie aus den gewonnenen Ergebnissen Schlußfolgerungen für den weiteren Einsatz der betroffenen Bauteile gezogen werden können.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul "Ausgewählte Probleme im militärischen Einsatz von Werk- und Betriebsstoffen" grundlegende Kenntnisse, die einem Ingenieur zur Vermeidung von Schadensfällen dienen. Darüber hinaus werden sie in die Lage versetzt, im Schadensfall geeignete Analyseverfahren zur

Ursachenforschung auszuwählen. Sie werden weiterhin mit spezifischen Problemen in der Entwicklung, dem Betrieb und einer möglichen Lebensdauererlängerung von Bauteilen und militärischen Waffensystemen vertraut gemacht.

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• VDI Richtlinie 3822 Blatt 1: Schadensanalyse - Grundlagen, Begriffe, Definitionen- Ablauf einer Schadensanalyse.</li><li>• Jones R.: Mechanics of Composite Materials. Washington D.C.: Scripta Book Company, 1975.</li><li>• Sellier K.: Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen. Springer-Verlag, 2001.</li><li>• Brendl H.: Wissensspeicher Tribotechnik. Fachbuchverlag Leipzig, 1988.</li><li>• Hofmann H.: Verfahren der Oberflächentechnik: Grundlagen - Vorbehandlung - Beschichtung - Oberflächenreaktionen - Prüfung. Hanser Fachbuchverlag. 2004.</li><li>• Steeb S.: Zerstörungsfreie Werkstück- und Werkstoffprüfung. Die gebräuchlichsten Verfahren im Überblick. Ehningen bei Böblingen: Expert Verlag, 1993.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul Ausgewählte Probleme im militärischen Einsatz von Werk- und Betriebsstoffen liefert das erforderliche Wissen, um bei der Untersuchung von Schadensfällen an Werkstoffen die notwendigen Schritte einzuleiten und geeignete Meßverfahren für die Untersuchung auszuwählen. Es sensibilisiert darüber hinaus für Möglichkeiten, Schadensfälle von vornherein zu vermeiden und zeigt mögliche Schlußfolgerungen aus bereits aufgetretenen Bauteilschäden auf.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Einführung in die Klebtechnik	1154

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Jens Holtmannspötter	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11541	VL	Einführung in die Klebtechnik	Pflicht	2
11542	UE	Einführung in die Klebtechnik	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Technische Mechanik, Werkstoffkunde

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studenten gewinnen einen Einblick in das interdisziplinäre Zusammenspiel von Faktoren, die das Fügeverfahren "Kleben" bestimmen.</li> <li>• Vor dem Hintergrund von Leichtbauanwendungen mit metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen der Luft- und Raumfahrt, lernen sie die Wechselwirkung zwischen Fügeflächen und Klebstoff zu verstehen. Zusätzlich werden die Grundlagen für das Realisieren einer klebgerechten Konstruktion vermittelt.</li> <li>• Die Studierenden kennen nach erfolgreichem Bestehen des Moduls die Verfahren zur klebtechnischen Oberflächenvorbereitung der verschiedenen Werkstoffe, die Anwendungsbereiche für unterschiedliche polymere Klebstoffe sowie die beim Kleben zu berücksichtigende Belastungen (Klima, Medien, Kräfte).</li> <li>• Darüber hinaus werden die Studenten in die Lage versetzt, unter Berücksichtigung der Konstruktion von Bauteilen die Eigenschaften und die wichtigsten mechanischen Kennwerte von Klebeverbindungen beurteilen zu können.</li> </ul>

Inhalt
<p>Neue Technologien sind häufig an den Einsatz von Werkstoffkombinationen und damit an leistungsfähige Fügeverfahren gebunden. Um komplexe Strukturen realisieren zu können, bietet sich hier die strukturelle Klebtechnik an. Sie ist geeignet, beliebige Fügeflächenwerkstoffe hochfest zu verbinden. Weitere Vorteile sind die spannungsarme Kräfteinleitung und die Tatsache, dass im Vergleich zu anderen Fügeverfahren keine Fügeflächenbeschädigung notwendig ist. Ein Hauptanwendungsgebiet der Klebtechnik ist der Leichtbau. Aufgrund der Aktualität und der Zukunftsbedeutung des Themas für die Herstellung und Reparatur von militärischen Leichtbaustrukturen werden spezielle Fragen</p>

der Klebtechnik, der Struktur von Oberflächen, der Oberflächenanalytik sowie zum Fügen von Metallen und Faserverbundwerkstoffen bearbeitet.

Im Rahmen der Vorlesung werden folgende Themen vermittelt:

- Fügeverfahren, Randbedingungen, Vor- und Nachteile
- Chemie der Fügeteiloberfläche und Oberflächenanalytik
- Adhäsionsmodelle, Wechselwirkung Fügeteil / Klebstoff
- Bedeutung von klebtechnischen Oberflächenvorbehandlungsverfahren
- Physikalische und chemische Oberflächenvorbehandlungsverfahren
- Klebstoffe und Klebstoffauswahl
- Eigenschaften von Klebeverbindungen
- Berechnung von Klebeverbindungen
- Prüfung von Klebeverbindungen
- Fügen metallischer und polymerer Werkstoffe, Reparaturverfahren
- Anwendungen der Klebtechnik / Lehren aus klebtechnischen Schadensfällen

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Das Modul "Einführung in die Klebtechnik" liefert das notwendige Basiswissen für die Anwendung der strukturellen Klebtechnik im Leichtbau und bei Reparaturen.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Fahrzeugdynamik</b>	1161

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Alexander Lion	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11611	VL	Fahrzeugdynamik	Pflicht	2
11612	UE	Fahrzeugdynamik	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Höhere Mathematik, Technische Mechanik.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden erlernen die grundlegenden Methoden und Begriffe der klassischen Fahrzeugdynamik um Sinne des Vertikal-, Quer- und Längsverhaltens von Kraftfahrzeugen. Sie sind nach Bestehen des Moduls in der Lage, numerische Berechnungsergebnisse aus Fahrzeugsimulationsprogrammen kritisch zu hinterfragen sowie zu beurteilen und anhand von einfachen Modellen überprüfen. Diese Lehrveranstaltung bildet die Grundlage für Masterarbeiten auf dem Gebiet der Fahrzeugsimulation und stellt eine Ergänzung zu anderen Lehrveranstaltungen der Fakultät dar.

## Inhalt

- Vertikaler Schwingungskomfort von Kraftfahrzeugen, Viertelfahrzeugmodell
- Berechnungsmodelle für Luftfedern, Elastomer- sowie Hydrolager und Stoßdämpfer
- Querdynamik von Kraftfahrzeugen, Einspurmodell, geregelte Zusatzlenkung Lenkwinkelsprung, stationäre Kreisfahrt, Über- und Untersteuern, Fahrstabilität
- Kursregelung von Fahrzeugmodellen
- Lineare und nichtlineare Reifenmodelle für Querdynamik
- Berechnungsmodelle für Längsdynamik von Fahrzeugen
- theoretische Grundlagen zu Antriebs- und Bremsmomentverteilungen

## Literatur

- Richter B.: Schwerpunkte der Fahrzeugdynamik. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1990.
- Willumeit H.-P.: Modelle und Modellierungsverfahren in der Fahrzeugdynamik. Teubner Verlag, 1998.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Mitschke M., Wallentowitz H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge. Springer Verlag, 2004.</li><li>• Schramm D., Hiller M., Bardini R.: Modellbildung und Simulation der Dynamik von Kraftfahrzeugen. Springer Verlag, 2010.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)
<b>Verwendbarkeit</b>
Masterarbeit auf dem Gebiet der Fahrzeugsimulation.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Flugbahnoptimierung</b>	1172

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts	Pflicht	9

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	48	42	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11721	VL	Flugbahnoptimierung	Pflicht	2
11722	UE	Flugbahnoptimierung	Pflicht	1
11723	P	Flugbahnoptimierung	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse, wie sie in Modulen zur „Höheren Mathematik“ oder „Ingenieurmathematik“ oder „Mathematische Methoden“ vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden kennen Modellierungstechniken in der Flugdynamik und können Flugzeugmodelle verschiedenen Detaillierungsgrades erstellen.  
Die Studierenden kennen numerische Verfahren zur Simulation von Flugmanövern.  
Die Studierenden kennen Verfahren zur optimalen Steuerung von Flugzeugen und zur Berechnung von optimalen Flugbahnen und können diese unter Verwendung von Softwarepaketen anwenden.

## Inhalt

Das Modul besteht aus einem Vorlesungsteil, einem Übungsteil und einem Computerpraktikum zur praktischen Umsetzung des Vorlesungsinhalts.  
Inhalt der Vorlesungen:

- Modellierung und Flugdynamik: Bezeichnungen, Koordinatensysteme und Transformationen, Zustandsmodellierung, Bewegungsgleichungen, Kräfte und Momente
- Simulationsmethoden: Anfangswertprobleme, Einschrittverfahren (explizite und implizite Runge-Kutta-Verfahren), Abhängigkeit von Parametern
- optimale Steuerung: Aufgabenstellung, Transformationstechniken, Minimumprinzip und indirekte Methode, Diskretisierungsverfahren (Mehrfachschießverfahren, Kollokationsverfahren), Optimierungsmethoden (SQP-Verfahren, Strukturausnutzung), Gradientenberechnung

<p>(Sensitivitätsdifferentialgleichung, adjungierte Methode), Abhängigkeit von Parametern</p> <p>Inhalt der Übungen:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aufgaben zur Vertiefung, Illustration und Anwendung der Vorlesungsinhalte</li></ul> <p>Inhalt des Computerpraktikums:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Simulation von Flugzeugmodellen mittels numerischer Methoden</li><li>• Implementierung einfacher Optimierungsmethoden und Lösen von Optimierungsproblemen</li><li>• Lösung von Optimalsteuerungsproblemen in der Flugbahnoptimierung mit Softwarepaketen (Notlandemanöver, Air-Races, ...)</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Gerdts, M. : Optimal control of ODEs and DAEs, DeGruyter Verlag, 2011</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Am Ende der Veranstaltung wird entweder eine schriftliche Prüfung mit 60 Minuten Dauer oder eine mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer abgehalten.
<b>Verwendbarkeit</b>
Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in Modulen aus den Bereichen optimale Steuerung und Luftfahrt.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester. Es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Grundlagen der terrestrischen Kommunikations- und Ortungsverfahren</b>	1173

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Guenter Heinrichs	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11731	VL	Grundlagen der terrestrischen Kommunikations- und Ortungsverfahren	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen (Höhere Mathematik, Allgemeine Elektrotechnik, Technische Mechanik) sowie Grundkenntnisse in der Signalverarbeitung.

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden verstehen die mathematischen Grundlagen der Signalverarbeitung für Kommunikationssysteme und lernen die wichtigsten Grundbegriffe kennen.</li> <li>• Die Studierenden können die Funktion eines Datenkommunikationssystems anhand von Blockschaltbildern und Schaltplänen nachvollziehen und beurteilen.</li> <li>• Sie kennen die physikalischen Hintergründe und Einschränkungen der verschiedenen Verfahren zur Lokalisierung und Positionierung mittels terrestrischer Kommunikationssysteme und können sie für die Systemimplementierung auswerten.</li> <li>• Die Studierenden sollen zudem fähig sein, den Bezug zu verwandten Problemstellungen in Geodäsie sowie satellitengestützter Positionierung und Navigation zu erkennen.</li> </ul>

Inhalt
Im Modul "Grundlagen der terrestrischen Kommunikations- und Ortungsverfahren" wird das Gebiet der satellitengestützte Positionierung und Navigation im Hinblick auf die Hybridisierung mit Verfahren zur Lokalisierung und Positionierung mittels terrestrischer Kommunikationssysteme vertieft. Den Studierenden wird hierzu ein grundlegender Einblick in die Nutzung der Kommunikation zur Lokalisierung und Positionierung mittels terrestrischer Kommunikationssysteme gegeben. Zunächst wird die Bedeutung der Kommunikation in der Geodäsie, sowie der satellitengestützten Positionierung und Navigation erläutert. Anschließend werden die notwendigen Grundlagen der Signalverarbeitung für Kommunikationssysteme besprochen. Ein erster Schwerpunkt

bildet die Behandlung der Eigenschaften von Übertragungskanälen anhand von Kanalmodellen. Anschließend werden verschiedene Übertragungsverfahren zur Datenkommunikation dargestellt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Betrachtung der Signalverarbeitung in Datenkommunikationssystemen. Das Modul schließt ab mit den derzeit bei terrestrischen Kommunikationssystemen verwendeten verfahren zur Lokalisierung und Positionierung und der Hybridisierung mit externen Sensoren.  
Gliederung des Moduls

- Einführung: Bedeutung, Abgrenzung und Grundbegriffe
- Terrestrische Kommunikation Heute und Morgen
- Grundlagen der Signalverarbeitung bei terrestrischen Kommunikationssystemen:

\*Eigenschaften von Übertragungskanälen (Störeinflüsse, Rayleigh- und Rician-Fading, Rauschen, Kanalmodel, Kanalkodierung)

\*Übertragungsverfahren zur Datenkommunikation (BPSK, QPSK, QAM, MSK, Spread-Spectrum, Quellenkodierung, PN Sequenzen, Walsh Funktionen)

- Signalverarbeitung in reinen Datenkommunikationssystemen:

\*Grundlegende Sender- und Empfängerstrukturen (Datenmodems, Funkdatenmodems)

\*Moderne Spread-Spectrum/CDMA Empfängerstrukturen (Korrelations- und RAKE-Empfänger, PN und Chip Matched Filter, Multipath Estimation und Kombination)

- Outdoor/Indoor Lokalisierung und Positionierung mittels terrestrischer Kommunikationssysteme:

\*Einführung zur Lokalisierung und Positionierung mittels terrestrischer Kommunikationssysteme

\*Lokalisierung und Positionierung mittels zellulärer Mobilfunknetzen

\*Lokalisierung und Positionierung mittels drahtloser lokaler Netzwerke (WLAN)

\*Lokalisierung und Positionierung mittels drahtloser Kurzstrecken-Netzwerke(WPAN, Bluetooth, DECT)

\*Lokalisierung und Positionierung durch Hybridisierung mit externen Sensoren(MEMS)

#### Literatur

- Proakis John G.: Digital Communications. Mcgraw-Hill Publ. Comp., 5th Revised edition (REV), Januar 2008.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Bensky Alen: Wireless Positioning Technologies and Applications. Artech House Inc., Dezember 2007.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für den Entwurf von Satellitennavigationsempfänger, das Systemdesign und die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Ortungsverfahren.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Kälte- und Klimatechnik	1175

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Theo-Klaus Wurst	Wahlpflicht	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11751	VL	Kälte- und Klimatechnik	Pflicht	2
11752	UE	Kälte- und Klimatechnik	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Module "Thermodynamik" und "Strömungslehre" vermittelt werden.

Qualifikationsziele

Der Studierende besitzt die Kenntnisse, kältetechnische Anforderungen in einem großen Temperaturbereich zu bewerten und sie in technischen Systemen und im Labor zu realisieren. Er kann darüber hinaus klimatechnische Bedingungen formulieren und sie mit Hilfe von standardisierten Komponenten umsetzen.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul "Kälte- und Klimatechnik" Kenntnisse über die thermodynamischen Grundlagen und die technische Realisierung konventioneller Verfahren zur Kälteerzeugung vom Kühl- bis zum Tiefsttemperaturbereich sowie über die Grundlagen der Klimatechnik auf der Basis der thermodynamischen Beschreibung von feuchter Luft. Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Die Studierenden erhalten zunächst ein kurzes Repetitorium über die relevanten Bezüge zur Technischen Thermodynamik einschließlich der Beschreibung realer Fluide und deren Gemische.
- Mit der Behandlung von Flüssigkeits- und Kältemischungen werden nicht nur Erfahrungen aus dem Alltag mit dem Phänomen "Kälte" thermodynamisch hinterlegt, sondern auch das Siede-/Tauverhalten von binären Systemen erarbeitet.
- Die Einführung und Darstellung des Joule-Thompson-Effektes realer Gase führt direkt zur thermodynamischen Beschreibung und zur apparativen Realisierung der Kompressionskältemaschine einschließlich der Vielfalt an technischen Varianten im Spiegel einer idealisierenden bzw. einer realen Prozessbeschreibung.

<p>Ergänzend wird der Bezug zur Wärmepumpe aufgezeigt. Die Studenten erhalten damit ein vertieftes Verständnis der Wirkungsweise einer Kältemaschine einschließlich der Fähigkeit für eine Auslegung bei einem geplanten Einsatz.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Behandlung der Kältemaschine ermöglicht an dieser Stelle die exergetische Bewertung, die weit über die energetische hinausgeht.</li> <li>• Angesichts der bekannten Umweltproblematik der üblichen Arbeitsmittel vieler Kältemaschinen, insbesondere der konventionellen Kältemittel, nimmt die Diskussion der neuen Kriterien für umweltfreundliche Kältemittel und deren weitere Entwicklung an dieser Stelle einen besonderen Platz ein.</li> <li>• Spezielle Anforderungen bzw. verfügbare Ressourcen haben zur Entwicklung anderer Verfahren der Kälteerzeugung geführt. Die Studenten lernen die Arbeitsweise und die thermodynamische Beschreibung der Absorptions-, der Resorptions- und der Dampfstrahl-Kältemaschine kennen.</li> <li>• Die Kryotechnik mit ihren charakteristischen Prozessen zur Darstellung tiefster Temperaturen (Kaltgas-Kältemaschine) und zur Luftverflüssigung runden den Bereich der Kältetechnik ab. In Verbindung mit den Grundlagen der Wärmeübertragung erreichen die Studierenden die Fähigkeit, kryotechnische Systeme z.B. bei Presspassungen einzusetzen</li> <li>• Zur quantitativen Beschreibung klimatechnischer Vorgänge in Alltag und Technik müssen spezielle Kenngrößen und Diagramme eingeführt werden, mit deren Hilfe man das Zweistoff-System "feuchte Luft" vollständig beschreiben kann. Mit diesen Grundlagen können dann alle thermodynamischen Vorgänge zum Beispiel in einer Klimaanlage oder einem Kühlturm nachvollzogen werden.</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cube, Steimle, Lotz, Kunis (Hrsg.); Lehrbuch der Kältetechnik, Band 1 und 2, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1997.</li> <li>• Eichmann, Rudolf; Grundlagen der Klimatechnik, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1997.</li> <li>• Auracher, Hein; Exergie, Anwendungen in der Kältetechnik, Karlsruhe, 1980.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul vertieft Inhalte des Moduls "Thermodynamik". Es bildet die Voraussetzung für die Darstellung und Berechnung von Kälte-, Kryo- und Klimaanlageanwendungen. In der Luft- und Raumfahrttechnik sind die Inhalte notwendig z.B. bei Tests von Komponenten der Raumfahrt oder für die Entwicklung von klimatisierten Nutzbereichen in Flugzeugen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure	1176

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Pflicht	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11761	VL	Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

keine

## Qualifikationsziele

1. Der/die Studierende hat Grundkenntnisse der verschiedenen Teilbereiche der Flugmedizin.
2. Der/die Studierende versteht ausgewählte medizinische Aspekte, welche an der Mensch-Maschine-Schnittstelle eine Rolle spielen.
3. Der/die Studierende ist in der Lage, die Auswirkungen der besonderen Umwelteinflüsse, die bei verschiedenen Flugprofilen auf den menschlichen Körper und seine funktionellen Systeme einwirken, aus dem Blickwinkel eines Ingenieurs einzuschätzen und in technische Überlegungen bzw. bei zukünftigen Entscheidungen im Bereich der Menschenführung mit einzubeziehen.

## Inhalt

Das Wahlmodul „Flugmedizin“ beschreibt die verschiedenen Bereiche der Luft- und Raumfahrtmedizin. Hierbei wird sowohl Grundwissen über die Funktionen des menschlichen Körpers einschließlich der Sinnesorgane vermittelt, als auch über die Wirkungen derjenigen besonderen Belastungen, welche durch den Aufenthalt in Luft- und Raumfahrzeugen verschiedener Leistungsklassen auf den menschlichen Körper entstehen.

Im Detail werden folgende Teilbereiche Thema der Vorlesungsreihe sein:

- die Grundfunktionen des menschlichen Körpers: Teilbereich Innere Medizin in der Flugmedizin

<ul style="list-style-type: none"><li>• das Sehorgan und seine Funktion: Bedeutung der Augenheilkunde in der Flugmedizin</li><li>• Bedeutung der Hals-/Nasen-/Ohren-Heilkunde in der Flugmedizin</li><li>• der Bewegungsapparat und seine Funktion: Bedeutung des Teilbereiches Orthopädie in der Flugmedizin</li><li>• Höhen- und Beschleunigungsphysiologie</li><li>• Ergonomie</li><li>• Fatigue, Schichtarbeit, Jetlag, Flugdienst- und Ruhezeiten</li><li>• Lufttransport Verwundeter und Kranker (AirMedEvac)</li><li>• Flugmedizin unter Einsatzbedingungen in einem Krisengebiet</li><li>• Raumfahrtmedizin</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kompendium der Flugmedizin (Generalarzt der Luftwaffe + Flugmedizinisches Institut der Luftwaffe)</li> <li>• Ernsting's Aviation Medicine (Ernsting, Nicholson, Rainford, fourth edition, 2006)</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Es wird grundlegendes Wissen über physiologische Zusammenhänge und deren Veränderungen durch die dem Fliegen eigenen Belastungen und Einflüsse vermittelt. Dieses Wissen ist geeignet, um zukünftigen Ingenieuren und Personalverantwortlichen fundierte Entscheidungsgrundlage zu sein.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Maschinendynamik	1191

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marburg	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	36	84	4

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11911	VL	Maschinendynamik	Pflicht	2
11912	UE	Maschinendynamik	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse Kenntnisse, wie sie in den Bachelor-Modulen der Technischen Mechanik und der Höheren Mathematik vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden erlernen die Grundbegriffe sowie ausgewählte experimentelle, analytische und numerische Methoden der Maschinendynamik.
- Die Studierenden sind in der Lage, störende Schwingungen von Maschinen zu charakterisieren und jeweils entsprechende Methoden zur Schwingungsisolierung bzw. Schwingungsdämpfung auszuwählen.
- Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, einfache schwingungsfähige Systeme zu untersuchen, zu verstehen und zu bemessen.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Maschinendynamik das Grundwissen zur Behandlung der Wechselwirkungen zwischen dynamischen Kräften und Bewegungsgrößen innerhalb von Maschinen.

- Physikalische und mathematische Modellbildung sowie analytische und numerische Verfahren zur Untersuchung schwingungsfähiger Systeme.
- Experimentelle Methoden zur Bestimmung dynamischer Größen im Zeit- und Frequenzbereich, experimentelle Modalanalyse.
- Grundlagen der Dynamik von Rotoren.
- Dreh- und Translationsschwingungen, schwingungsfähige Systeme mit einem und mehreren Freiheitsgraden, erzwungene Schwingungen, nichtlineare und selbsterregte Schwingungen.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Grundlagen zur Bemessung von Maschinenelementen, Auswuchten und Massenausgleich von Rotoren, Berechnung von dynamischen Beanspruchungen und Deformationen sowie von kritischen Drehzahlen, Resonanzphänomene.</li><li>• Methoden zur Schwingungsisolierung sowie zur Verminderung von Lärm- und Vibrationsbelastungen, Schwingungsdämpfer und Schwingungstilger.</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Dresig H., Holzweißig F.: Maschinendynamik. Springer Verlag, 2006.</li><li>• Sachau D., Brommundt E.: Schwingungslehre mit Maschinendynamik. Vieweg +Teubner, 2007.</li><li>• Irretier H.: Grundlagen der Schwingungstechnik Band 1 und 2. Springer Verlag, 2001.</li><li>• Hollburg U.: Maschinendynamik. Oldenbourg Verlag, 2007.</li><li>• Gasch R., Nordmann R., Pfützner H.: Rotordynamik. Springer Verlag, 2007.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für wissenschaftliche Untersuchungen sowie für angewandte Forschung und Entwicklung auf sämtlichen Gebieten der Luft- und Raumfahrttechnik. Das Modul Maschinendynamik bildet die Grundlage für weiterführende Lehrveranstaltungen des Masterstudiums.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Nichtlineare Finite-Elemente-Methode</b>	1194

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Alexander Lion	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11942	P	Rechnerpraktikum Nichtlineare FEM	Pflicht	1
14271	VL	Nichtlineare FEM	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Der Studierende benötigt Kenntnisse aus dem Modul Finite Elemente.

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden gewinnen die Fähigkeit, strukturmechanische Analysen mittels der Finite-Elemente-Methode auch im geometrisch und physikalisch nichtlinearen Bereich mittels kommerzieller Routinen durchzuführen und auszuwerten.  
Wesentliches Qualifikationsziel ist dabei die Identifikation vorliegender Nichtlinearitäten sowie die Anwendung von geeigneten kontinuumsmechanischen Modellen und numerischen Lösungsverfahren.

#### Inhalt

Die Studierenden erhalten eine Einführung in die Theorie nichtlinearer Finite-Elemente-Analysen sowie anwendungsorientierte Beispiele in einem Rechnerpraktikum zu den Themen:

- Klassifizierung von Nichtlinearitäten
- Lösungsverfahren für nichtlineare Probleme (inkrementelle/iterative Verfahren, Newton-Raphson Methode)
- Kontaktprobleme (Penalty-Methode, Lagrange-Verfahren, inkrementelle Algorithmen, Reibung, Kontaktkörper/Kontaktpaare)
- Physikalische Nichtlinearität 1: Plastizität (Einführung in die klassische Plastizitätstheorie, Beispielrechnung, Return-Mapping Algorithmus)
- Physikalische Nichtlinearität 2: Viskoelastizität (Einführung in die lineare Viskoelastizitätstheorie, Spannungsrelaxation, Kriechen, Übertragung von Versuchswerten)
- Geometrische Nichtlinearität 1: (Kinematik bei großen Deformationen, Verzerrungs- und Spannungsmaße, Hyperelastizität)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geometrische Nichtlinearität 2: (Arbeitsprinzip, Linearisierung, FE-Implementierung)</li> <li>• Explizite Zeitintegration bei kurzzeitdynamischen Belastungen, Besonderheiten explizit dynamischer FEM</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bathe K.-J.: Finite Elemente Methoden. Berlin: Springer-Verlag, 2001.</li> <li>• Belytschko T., Liu W.K., Moran B.: Nonlinear Finite Element Analysis for Continua and Structures. John Wiley, 2000.</li> <li>• Bonet J., Wood R.D.: Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis. Cambridge University Press, 1997.</li> <li>• Crisfield M.A.: Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures. John Wiley, 1996.</li> <li>• NAFEMS: Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis. NAFEMS Publishing.</li> <li>• Simo; Hughes: Computational Inelasticity. Springer-Verlag.</li> <li>• Wriggers: Nichtlineare Finite-Elemente-Methoden. Springer-Verlag.</li> <li>• Zienkiewicz; Taylor: The Finite Element Method. Butterworth-Heinemann, Jordan Hill.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)
<b>Verwendbarkeit</b>
Masterarbeit auf dem Gebiet der numerischen Strukturberechnung.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Praktische Flugversuchstechnik</b>	1200

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	36	84	4

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12001	P	Praktische Flugversuchstechnik	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen, Kenntnisse in "Grundlagen der Flugmechanik und Luftfahrttechnik", "Flugführungssysteme"

## Qualifikationsziele

1. Die Studierenden verstehen die Aufgaben der Flugversuchstechnik und können das Wissensgebiet in den Kontext der luftfahrttechnischen Disziplinen einordnen.
2. Die Studierenden kennen das Aufgabenspektrum und die grundlegenden Methoden des Flugversuchingenieurs.
3. Die Studierenden kennen die wichtigsten elementaren Bestimmungsmethoden für Flugleistungen und Flugeigenschaften.
4. Die Studierenden verstehen die elementaren Gesichtspunkte des praktischen Flugbetriebs.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul "Praktische Flugversuchstechnik" das grundlegende praktische Wissen zur systematischen Durchführung von Versuchen zur Flugerprobung am Beispiel einzelner Flugversuche zur Bestimmung von Flugleistungen und Flugeigenschaften. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Ziele, Aufgaben und Methoden der Flugerprobung sowie die Anbindung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik insbesondere der Flugmechanik.
- Die Studierenden erhalten im Rahmen der Vorbereitung und Durchführung eines Flugversuchs eine Einführung in allgemeine Gesichtspunkte des Flugbetriebs sowie der Handhabung des Flugzeugs durch den Piloten an seinem Arbeitsplatz.
- Die Studierenden werden in weiteren Versuchsflügen mit der Durchführung von elementaren Messungen im Fluge vertraut gemacht, welche auf die Beurteilung von Flugleistungen und Flugeigenschaften abzielen. Hierbei können u.a. die folgenden Gesichtspunkte behandelt werden: Bestimmung der Flugzeugpolare,

<p>Bestimmung des stationären Steigvermögens, Bestimmung von Neutralpunkt und Manöverpunkt.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Bestimmung der Parameter der Eigenbewegungsformen des Flugzeugs (z.B. Phyoide), Verhalten des Flugzeugs bei Strömungsabriss.</li><li>• Die Studierenden lernen in einem letzten Versuchsflug selbstständig entsprechende Flugversuche als Flugversuchingenieur verantwortlich durchzuführen.</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• R. C. Nelson, Flight Stability and Automatic Control, McGraw-Hill, 2nd ed., Singapore 1998</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Benoteter Schein Der Benotung setzt sich zusammen aus individuellen oder in Gruppenarbeit erstellte Auswertebereichten / -berichtsteilen der durchgeführten Flüge und einer mündlichen/schriftlichen Wissensabfrage.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.</p>

Modulname	Modulnummer
<b>Präzise Orbitbestimmung</b>	1202

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
M.A. rer. nat., Dr. techn. Thomas Pany	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
84	30	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12021	VL	Präzise Orbitbestimmung	Pflicht	2
12022	UE	Präzise Orbitbestimmung	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse in Höherer Mathematik, der Regelungstechnik sowie der Besuch des Moduls Satellitennavigation und Weltraumphysik.

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden verstehen die Anforderungen, die an einen GNSS-Navigationsempfänger für Raumfahrzeuge (Satelliten, ISS) gestellt werden (Genauigkeit, Anwendungsprofile, Gewicht, Stromverbrauch, Zertifizierung, ...)</li> <li>• Sie verstehen, wie sich dieser spezielle Empfänger von einem herkömmlichen GNSS-Empfänger unterscheidet (geringe Sichtbarkeit von GNSS-Satelliten, geringe Signalleistung, hohe Bewegungsdynamik, hohe Prädizierbarkeit der Bewegung).</li> <li>• Sie sind in der Lage ein „precise orbit determination (POD)“-Modul in MATLAB oder C++ zu implementieren und es über eine C-Schnittstelle mit einem kommerziellen Softwareempfänger in Betrieb zu nehmen und an einem HF-GNSS-Signalgenerator zu testen.</li> </ul>

Inhalt
<p>Eine Vielzahl von Raumfahrtmissionen (ca. 50 pro Jahr) benötigt eine hochgenaue Bahnbestimmung, wie sie mittels GNSS (d.h. dem amerikanischen GPS, dem europäischen Galileo, dem russischem GLONASS oder dem chinesischem Beidou) zur Verfügung gestellt werden kann. Diese Missionen schließen Fernerkundungssatelliten, Navigationssatelliten, Messungen des Erdschwerefeldes, Rendezvous &amp; Docking-Manöver oder Konstellationsflüge mit ein. Auch die Nutzung von GNSS zur Navigation zum und am Mond ist Gegenstand aktiver Forschung.</p> <p>GNSS ist in diesem Bereich der Raumfahrt eine Zukunftstechnologie, da es die Möglichkeit liefert eine präzise Position zu bestimmen und zusätzlich vergleichsweise kostengünstig ist. Jedoch unterscheiden sich die Anforderungen an den GNSS-Empfänger in der Raumfahrt teilweise grundlegend von jenen an herkömmliche</p>

Empfänger (zB. KFZ-Navi). Zum einen sind die Anforderungen an den Formfaktor, Gewicht und Stromverbrauch zu nennen sowie auch die Strahlungsrobustheit. Zum anderen unterscheiden sich die empfangenen Signale durch die teilweise geringe Signalleistung, die hohe Signaldynamik und die schlechte Sichtbarkeit der GNSS-Satelliten.

Das Kernelement eines Satelliten-GNSS-Empfängers ist es, die gute Vorhersagbarkeit der Bewegung im Weltall (die im wesentlichen durch Keplerbahnen gegeben ist) in die Signalverarbeitung zu integrieren. Zu Beginn sollen die notwendigen Grundlagen der Bewegung im All wiederholt werden. Das dient in einem ersten Schritt dazu, die Sichtbarkeiten der GNSS-Satelliten vom Raumfahrzeug aus zu berechnen und die Signalakquisition (grobe Synchronisation) zu beschleunigen. Ein weiteres Kernelement ist ein Kalmanfilter, dessen Zustandsvektor die Keplerparameter des Raumfahrzeugs enthält. Dieser Kalmanfilter wird mit Pseudostreckenmessungen und Dopplermessungen bedient. Eine Rückführung in den GNSS-Empfänger erlaubt es, auch schwachen GNSS-Signalen zu folgen ("Vector-Tracking"), was die Anzahl der verfügbaren GNSS-Satelliten erhöht, sodass auch überhalb der GNSS-Satelliten (d.h. in einer Höhe & #62; 25000 km) genügend Messungen vorhanden sind, um eine präzise Orbitbestimmung vorzunehmen. Durch eine Mischung aus Übung und Vorlesung soll das Gelernte unmittelbar umgesetzt werden und damit das Wie und Warum der einzelnen Schritte klargemacht werden. Die Studenten erhalten dadurch Praxis im Umgang in einem komplexen technischen Umfeld der Navigation und Signalverarbeitung.

Es ist das Ziel der Vorlesung und Übung, einen existierenden kommerziellen Softwareempfänger um ein solches Modul zu erweitern. Im Rahmen eines Programmierprojektes wird von jedem Studenten ein Programmiermodul in MATLAB und/oder C++ erstellt und an den Empfänger angebunden.

#### Literatur

- O. Montenbruck und E. Gill: „Satellite Orbits: Models, Methods, Applications“, Springer, 2005
- Pany, T. et al.: „SX-NSR Scientific Navigation Software Receiver“, <http://www.ifen.com/sx-nsr>

#### Leistungsnachweis

Die Ergebnisse des Programmierprojektes werden im Rahmen eines 60-minütigen Kolloquiums mit einem Notenschein bewertet.

#### Verwendbarkeit

Abgesehen von der Einführung in ein spezifisches Problem der Raumfahrt, erhöhen die Studierenden ihr Verständnis komplexer technischer Probleme, die eine extrem hohe Zuverlässigkeit und Autonomie verlangen sowie ihre Praxis im System-Engineering und in der Programmierung.

### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Produkt- und Innovationsmanagement</b>	1203

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold	Wahlpflicht	2

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	48	102	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12031	VÜ	Produkt- und Innovationsmanagement	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
keine

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viele Studenten des Studiengangs werden im Verlauf ihrer Karriere Projektleiter oder Manager in der Produktentwicklung oder der Forschung. Dieses Modul soll ein Verständnis für die spezifischen Herausforderungen und Aufgaben im Entwicklungsmanagement vermitteln, die sie dazu befähigen, Projekte und Organisationsbereiche erfolgreich zu leiten.</li> <li>• Studenten verstehen die unterschiedlichen Tätigkeitsschwerpunkte im Produktmanagement und in der Prozessgestaltung, können diese für unterschiedliche Organisationsformen interpretieren und entsprechend der gesellschaftlichen und marktwirtschaftlichen Situation bewerten.</li> <li>• Sie erlernen ein breites Methodenspektrum, um Situationen im Entwicklungsmanagement einschätzen und adäquat agieren zu können.</li> <li>• Sie erhalten damit die Basis, um neue Erfahrungen und Wissen aus der Praxis einzuordnen.</li> </ul>

Inhalt
<p>Motivation und Einführung</p> <p>Einordnung des Entwicklungsmanagements in Unternehmensaktivitäten</p> <p>Analyse der Randbedingungen aus Markt und Gesellschaft</p> <p>Betrachtungen zum Produktmanagement</p>

- Inhalte, Herausforderung und Methoden zum Technologiemanagement, Innovationsmanagement und Variantenmanagement zur strategischen und operativen Gestaltung des Produktportfolios
- Typische Probleme und methodische Unterstützung zur Entscheidungsfindung

#### Betrachtungen zur Prozessgestaltung

- Notwendigkeit und Aufgaben des Prozessmanagements
- Überlegungen zur Gestaltung von Entwicklungsprozessen sowie assoziierter Prozesse zum Anforderungsmanagement, Änderungsmanagement und Freigabeprozesse
- Vorstellung von Methoden zur Prozessoptimierung
- Inhalte, Notwendigkeit und Methoden zum Wissensmanagement, Qualitätsmanagement und Controlling von Entwicklungsprozessen

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten, am Ende des Wintertrimesters.

Für die Prüfung darf eine einseitig selbstständig handbeschriebene DIN A4-Seite zur Unterstützung verwendet werden.

#### Verwendbarkeit

Das Modul **Produkt- und Innovationsmanagement** ergänzt die Lehrveranstaltung Methodik in der Produktentwicklung um die organisatorische Sicht auf Produktentwicklungsprozesse und dessen Einordnung in den Unternehmenskontext.

#### Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Rechenverfahren zur Turbomaschinenauslegung	1204

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Niehuis	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	36	84	4

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12041	VL	Rechenverfahren zur Turbomaschinenauslegung	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Modulen "Strömungsmechanik", "Gasdynamik", "Antriebssysteme" und "Antriebskomponenten" vermittelt werden.

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden werden in die Lage versetzt, die Erhaltungsgesetze für Masse, Impuls und Energie auf die instationäre Relativströmung in Turbomaschinen in Verbindung mit dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik anzuwenden. Damit können sie beispielsweise die auftretenden Reibungsverluste mit Hilfe von Wirkungsgraden sowie Dissipationskoeffizienten beschreiben.</li> <li>• Die Studierenden erhalten einen vertieften Einblick in die analytische Beschreibung der kompressiblen dreidimensionalen Strömung in Turbomaschinen. Das gilt sowohl für die sub- als auch für die transsonische Strömung.</li> <li>• Neben den stationären Rechenverfahren für subsonische Turbomaschinenströmung werden den Studierenden vor allem die mathematischen Grundlagen der zeitabhängigen Rechenverfahren für transsonische Strömung vermittelt. Damit sind sie in der Lage, moderne zeitabhängige NAVIER-STOKES-Verfahren sowohl für die Analyse und als auch für die Auslegung von Turbomaschinen anzuwenden.</li> <li>• Durch die vertieften Kenntnisse in den analytischen Auslegungsverfahren sind die Studierenden darauf vorbereitet, in der wissenschaftlichen Grundlagenforschung sowie in der angewandten Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Turbomaschinen tätig zu werden.</li> </ul>

Inhalt
Die Studierenden erwerben im Modul Rechenverfahren zur Turbomaschinenauslegung ein vertieftes Grundlagenwissen über die derzeit in der Industrie verwendeten

**Auslegungsverfahren für Turboarbeits- und Turbokraftmaschinen (Verdichter und Turbinen) für Flugtriebwerke sowie für stationäre Gasturbinen.**

- Zu Beginn der Vorlesung werden die Erhaltungsgesetze für Masse, Impuls und Energie für die laminare Strömung eines kompressiblen reibungsbehafteten Fluids in einem rotierenden Relativsystem in Zylinderkoordinaten einschließlich des Zusammenhangs zwischen Spannungs- und Deformationstensor ausführlich dargestellt. Dabei werden sowohl die Transportgleichung der Strömungsmechanik in differentieller sowie in integraler Schreibweise als auch die dazu notwendigen vektoranalytischen Beziehungen wiederholt.
- Alle zur Auslegung von Turbomaschinen verwendeten Rechenverfahren -wie beispielsweise- stationäre Potential- und Stromfunktionsverfahren, substantielles Stromliniengeometrieverfahren sowie zeitabhängige EULER und NAVIER-STOKES-Verfahren werden zuerst in zweidimensionaler Formulierung in kartesischen Koordinaten behandelt, um die charakteristischen Eigenschaften des jeweiligen Verfahrenstyps hervorzuheben. Dabei wird dem zeitabhängigen EULER-Verfahren am Beispiel der eindimensionalen Düsenströmung besondere Aufmerksamkeit bezüglich der hyperbolischen Eigenschaften gewidmet. Die bei zeitabhängigen Verfahren erforderliche Upwind-Diskretisierung bzw. zentrale Diskretisierung plus numerische Dämpfung, werden einschließlich der für die explizite Zeitdiskretisierung erforderlichen Stabilitätsanalyse nach FOURIER eindimensional demonstriert.
- Im Anschluss an diesen theoretischen Teil der Vorlesung werden diese Verfahren auf die dreidimensionale Turbomaschinenströmung angewandt. Dabei wird zwischen der quasi-dreidimensionalen Formulierung mittels Stromflächen, in der die dreidimensionale Strömung durch Superposition von stationären zweidimensionalen Lösungen approximiert wird, den dreidimensionalen Rechenverfahren für Einzelgitter und den quasi-stationären dreidimensionalen Verfahren für mehrstufige Turbomaschinen einschließlich Navier-STOKES-Formulierung unterschieden.

**Literatur**

- Anderson J. D.: Computational Fluid Dynamics. New York: McGraw-Hill, 1995.
- Hirsch Ch.: Numerical Computation of Internal and External Flow.
- Vol. 1: Fundamentals of Computational Fluid Dynamics. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007, 2. Edition.
- Vol. 2: Computational Methods for Inviscid and Viscous Flows. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- Marsal D.: Die numerische Lösung partieller Differentialgleichungen. Mannheim: B. I. Wissenschaftsverlag, 1976.

**Leistungsnachweis**

Mündliche Prüfung mindestens 30 Minuten

<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Flugantriebe und Turbomaschinen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitenbetrieb	1205

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Felix Huber	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12051	VL	Satellitenbetrieb	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

**Empfohlene Voraussetzungen**

Vorausgesetzt werden allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen (Höhere Mathematik, Experimentalphysik, Technische Mechanik, Thermodynamik, Allgemeine Elektrotechnik), sowie Grundkenntnisse in der Raumfahrttechnik.

**Qualifikationsziele**

- Die Studierenden verstehen die Schnittstellen- und Testanforderungen für Geräte und die sich daraus ergebenden Beschränkungen.
- Die Studierenden können die Elektronik eines Satelliten anhand von Blockschaltbildern und Schaltplänen nachvollziehen und beurteilen.
- Sie kennen die physikalischen Hintergründe und Einschränkungen der Hochfrequenzübertragung und können sie für die Betriebsmöglichkeiten auswerten.
- Die Testpläne und Abläufe (Prozeduren) für die Integration und den Nachweis der Startbereitschaft können erstellt und beurteilt werden.

**Inhalt**

Im Modul Satellitenbetrieb wird das Gebiet der Satellitensysteme vertieft mit Hinblick auf die Modalitäten des Betriebes, die sich durch die technischen Beschränkungen der Geräte ergeben. Die Bodenstation als achttes Subsystem hat entsprechende Schnittstellen zum Satelliten in der Systemdefinition und zu den einzelnen Geräten direkt und indirekt über die Kommunikationssysteme. Die Anforderungen an den Betrieb des Satelliten müssen durch die Geräte erfüllt und durch entsprechende Bodentests während der Entwicklung und vor dem Start nachgewiesen werden. Im Verlauf des Moduls werden die physikalischen Beschränkungen der Signalaufbereitung und Hochfrequenzübertragung vertieft. Anschließend wird die technische Realisierung dieser Funktionen durch die Satellitenelektronik erläutert. Das Modul schließt ab mit den Integrationsfunktionen, den Tests und der Komplettierung des Satelliten für die Präparation zum Start.

<b>Gliederung des Moduls:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Einleitung -Die Bodenstation als nichtfliegenes Subsystem</li><li>• Entwurfs- und Schnittstellenanforderungen</li><li>• Nachrichtenübertragung und Hochfrequenztechnik</li><li>• Nachrichtentechnische Nutzlast</li><li>• Satellitenelektronik: Verbindungen, Bauteile, Baugruppen</li><li>• Modell- und Testphilosophien</li><li>• Bodenhilfsgeräte (MGSE, EGSE)</li><li>• Test/Verifikation</li><li>• Komplettierung, Startbereitschaft</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Hallmann W., Ley W., WittmannK.: Handbuch der Raumfahrttechnik. Hanser Fachbuch, 2007.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für den Satellitenentwurf, das Systemdesign und den Betrieb von Satelliten.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitenbetrieb Praxis	1206

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Felix Huber	Pflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	48	42	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12061	VL	Satellitenbetrieb Praxis	Pflicht	2
12062	UE	Satellitenbetrieb Praxis	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Allg. ingenieurwissenschaftliche Grundlagen, Technische Mechanik, Teilnahme am Modul "Satellitenbetrieb".

## Qualifikationsziele

Die Studierenden verstehen die Grundlagen des Betriebes und die sich daraus ergebenden Randbedingungen.

Sie können die Anforderungen der Subsysteme an den Betrieb beurteilen und ihre Aufgaben nachvollziehen. Die Studierenden können den Entwurf eines Bodensegmentes beurteilen.

Nach Durchführung der praktischen Übungen können die Studierenden die Tätigkeiten an den Konsolen nachvollziehen und selbstständig Telemetrie und Telekommandos bearbeiten.

## Inhalt

Im Modul "Satellitenbetrieb Praxis" wird das Gebiet der Satellitensysteme erweitert auf die Anforderungen und eigentliche Durchführung des Betriebs. Die Subsysteme des Satelliten haben ihre spezifischen Anforderungen an den Betrieb und müssen in der Planung berücksichtigt werden. Das Modul geht auf die individuellen Beschränkungen der Subsysteme ein und ihre Wechselwirkungen. Der Betrieb kann nur sicher erfolgen, wenn ein entsprechendes Netz von kompatiblen Bodenstationen zur Verfügung steht. Diese zeitlichen Beschränkungen für den Zugriff haben unmittelbare Auswirkungen auf den Zeitpunkt, wann Manöver durchgeführt werden können. Die Flugdynamik muß diese

Beschränkungen bei der Bahn- und Lageregelung mit berücksichtigen, damit die Mission innerhalb der vorgegeben Orbitgrenzen geflogen werden kann.

Gliederung:

- Startbereitschaft und Startkampagne
- Anforderungen und spezielle Methoden der Subsysteme
- Flugdynamik und Lageregelung
- Bodensegment: Bodenstationen, Netzwerke, Design eines Kontrollzentrums
- Missionsplanung, -vorbereitung und -durchführung
- Praktische Übungen an den Kontrollzentrums-Konsolen
- Übungen zu Spezialthemen: Bemannte Raumfahrt, Rendezvous und Docking, Lander

#### Literatur

- Hallmann, Ley, Wittmann: Handbuch der Raumfahrt, Hanser Verlag, 2010

#### Leistungsnachweis

mündliche Prüfung 30 Minuten ohne Hilfsmittel oder Notenschein

#### Verwendbarkeit

Systemdesign von Raumflugkörpern, Missionsplanung, Betrieb von Satelliten

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Stochastische Finite-Elemente-Methode</b>	1207

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marburg	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12071	VL	Stochastische FEM	Pflicht	2
12072	UE	Stochastische FEM	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik, grundlegende Kenntnisse zu Finite-Elemente-Methoden

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden sollen die grundlegenden Begriffe für die Beschreibung von Parameterunsicherheiten beherrschen und diese auf einfache Modelle in den Ingenieurwissenschaften anwenden können. Außerdem erwerben die Studierenden die Fähigkeit bei Finite-Elemente-Methoden die Unsicherheiten in komplexen Strukturen zu analysieren und zu quantifizieren.

#### Inhalt

- Einführung in die Unsicherheitsquantifizierung Methoden
- Zufallsvariablen, Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
- Monte-Carlo-Simulation
- Wiener-Prozess
- Polynomiale Chaosesentwicklung
- Stochastische Galerkin Methode
- Intrusiv stochastische FEM
- Stochastische Kollokation
- Nicht-Intrusiv stochastische FEM
- Stochastische Sparse-Grid-Kollokation

#### Literatur

- J. Geistefeldt: Stochastische Finite-Element-Methoden, Inst. für Statik, 2003.
- R. Ghanem, C. Soize: Stochastic finite elements: a spectral approach, Springer-Verlag, 2003.
- M. Kleiber, D. H. Tran: The stochastic finite element method: basic perturbation technique and computer implementation, Wiley Publication, 1992.

<ul style="list-style-type: none"><li>• K. Sepahvand : Uncertainty quantification in stochastic direct and inverse vibration problems using polynomial chaos expansion, PhD Thesis, TU Dresden, 2009.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein, (selbst bearbeitete Hausaufgabe mit Kolloquium)
<b>Verwendbarkeit</b>
Die Inhalte des Moduls sind von der besonderen Bedeutung für die Durchführung der Master-Abschlussarbeit. Im Berufsleben ist man häufig mit der Aufgabe konfrontiert, Unsicherheiten zu analysieren und Parameter für Modellrechnungen zu gewinnen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Stochastische Schwingungen in Theorie und Praxis</b>	1208

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Ottmar Breuer	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12081	VL	Stochastische Schwingungen in Theorie und Praxis	Pflicht	2
12082	UE	Stochastische Schwingungen in Theorie und Praxis	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse der Technischen Mechanik und der Strukturdynamik.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden verstehen, die Bedeutung der stochastischen Signale im Vergleich zu den deterministischen Signalen im realitätsnahen Betrieb von Luft- und Raumfahrzeugen sowie von Fahrzeugsystemen zu erfassen.
- Die Studierenden sind in der Lage, Signaltypen zu klassifizieren und dabei stochastische Signale durch ihre Mittelwerte quantitativ einzuordnen.
- Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, die mathematischen Werkzeuge zur Behandlung von Signalen im Zeit- und Frequenzbereich sicher anzuwenden, sowie den Übergang zwischen den Bereichen zu beherrschen.
- Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, anhand von Signal- und Leistungsspektren im Versuchswesen Belastungen der zu untersuchenden Struktur wie des Prüfaufbaus (elektrodynamischer Shaker, Hydraulikzylinder) abzuschätzen.
- Die Studierenden werden in die Lage versetzt, die zur Verarbeitung stochastischer Signale notwendige Messtechnik und ihre Fehlerquellen sowie deren Abhilfe zu verstehen.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul "Stochastische Schwingungen in Theorie und Praxis" das notwendige Grundwissen zur rechnerischen und messtechnischen Behandlung von realistischen mechanischen Anregungen, wie sie stochastische Schwingungen im Einsatzbereich von Luft- und Raumfahrtgerät aber auch im allgemeinen Fahrzeugbau darstellen.

Im Einzelnen werden folgende Inhalte vermittelt:

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die mechanischen Umweltbedingungen, denen Luft- und Raumfahrzeuge sowie bodengebundene Fahrzeuge im Betrieb ausgesetzt sind sowie eine Einordnung der Bedeutung stochastischer Signale im Mess- und Versuchswesen.
- Die Studierenden werden mit den mathematischen Grundlagen der statistischen Signalanalyse im Zeit- und Frequenzbereich sowie der Klassifizierung von Signaltypen vertraut gemacht. Insbesondere wird die Bedeutung von Signal- und Leistungsspektren zur Beurteilung realistischer Belastungen auf schwingungsfähige Strukturen den Studierenden quantitativ (RMS-Wert) vermittelt.
- Die Studierenden lernen das Antwortverhalten linearer Systeme bei stochastischer Erregung, Lösungsverfahren und wesentliche Unterschiede zu deterministischen Signalen kennen.
- Anhand praktischer messtechnischer Erfassung stochastischer Signale wird den Studierenden das wichtigste Messinstrument (FFT-Analysator), Messfehler und deren Vermeidung bei der digitalen Verarbeitung nähergebracht.
- Die Rolle der stochastischen Signale bei einer experimentellen Systemidentifikation und deren messtechnische Realisierung werden in Theorie und Praxis den Studierenden vermittelt.

#### Literatur

- Wirsching P. et al.: Random Vibrations. John Wiley & Sons, 1995.
- Böhme J.F.: Stochastische Signale. Teubner Studienbücher, 1998.

#### Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

#### Verwendbarkeit

Das Modul erweitert die Schwingungsuntersuchung auf Zufallsschwingungen. Es gibt Einblick in die Methoden der Versuchstechnik der dynamischen Strukturprüfung in der Luft- und Raumfahrt sowie der messtechnischen Verarbeitung stochastischer Signale.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Thermalhaushalt bei Satelliten</b>	1209

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Schällig	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
12091	VL	Thermalhaushalt bei Satelliten	Pflicht	2
12092	UE	Thermalhaushalt bei Satelliten	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse in Höherer Mathematik, Thermodynamik, Regelungstechnik

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden kennen die analytischen und numerischen Methoden, wie sie in der Raumfahrt-Industrie zur Berechnung des Thermalhaushalts von Raumfahrtsystemen angewandt werden.
- Die Studierenden sind in der Lage, thermische Modelle analytischer und/oder numerischer Art aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik zu entwickeln, in denen die Realität durch Abstraktion vereinfacht wird.
- Die Studierenden beherrschen Spezialmethoden zur Analyse von thermischen Detailmodellen als Grundlage zur Design-Optimierung.
- Die Studierenden können in Thermalabteilungen der Raumfahrt eingesetzt werden.

## Inhalt

- Ableitung der Wärmeleitungsgleichung für Festkörper und der in der Raumfahrt angewandten Gleichung der Knotenmethode aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik
- Methoden zur Lösung der Wärmeleitungsgleichung (instationär: spezielle Lösungen, Trennung der Variablen, Laplace-Transformation / stationär: spezielle Lösungen, Potentialtheorie im 2-D mit konformen Abbildungen)
- Vergleich der Lösungen mit der Knotenmethode (falls möglich)
- Energieaustausch durch Strahlung - das Planck'sche Strahlungsgesetz
- Wärmestrahlung in schwarzen und grauen Hohlräumen mit N-Flächen
- Sichtfaktoren und Behandlung der Vielfachreflexion
- Möglichkeiten der aktiven und passiven Thermalkontrolle (Coatings, MLI, SSM)

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Baehr-Stephan: Wärme- und Stoffübertragung. Springer-Verlag, 1994.</li><li>• Gröber, Erk, Grigull: Wärmeübertragung. Springer-Verlag, 1963.</li><li>• Grigull-Sandner: Wärmeleitung. Springer-Verlag, 1979.</li><li>• Myers: Analytical Methods in Conduction Heat Transfer. McGraw-Hill, 1971.</li><li>• Planck: The Theory of Heat Radiation. Tomash Publishers, 1989.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das vermittelte Wissen ist Grundlage in Industrie-Abteilungen für Entwicklung von Raumfahrtssystemen (bemannte und unbemannte Raumfahrt) sowie von Antrieben.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Nichtlineare Regelungstechnik</b>	1352

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. (PD) Gunther Reißig	Zusatzfach	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	24	96	4

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13521	SE	Nichtlineare Regelungstechnik	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>2</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

„Höhere Mathematik“, „Steuer- und Regelungstechnik“ und „Regelungstechnik“.

#### Qualifikationsziele

1. Die Studierenden verfügen über Techniken und Methoden zur weitgehend selbständigen Erschließung wissenschaftlicher Fachtexte.
2. Die Studierenden sind in der Lage, komplexe fachliche Zusammenhänge korrekt, strukturiert und verständlich zu formulieren und in schriftlicher Form niederzulegen.
3. Die Studierenden verfügen über Detailkenntnisse aus einem Teilgebiet der nichtlinearen Regelungstechnik, die es ihnen ermöglichen, spezielle Fragestellungen der nichtlinearen Regelungstechnik eigenständig zu untersuchen.
4. Die Studierenden sind in der Lage, einen wissenschaftlichen Fachvortrag auszuarbeiten und in geeigneter Form vorzutragen.
5. Die Studierenden sind in der Lage, aktiv an einer fachlichen Diskussion teilzunehmen, in der sie ihre Thesen erläutern und ggf. verteidigen.

#### Inhalt

Das Seminar betrifft aktuelle Fragestellungen der nichtlinearen Regelungstechnik und besteht aus einem einleitenden Vortrag des Dozenten und Vorträgen der Studierenden von jeweils etwa 70 Minuten Dauer mit anschließender Diskussion. Die Wahl der Vortragsthemen erfolgt durch die Studierenden aus einer vom Dozenten zum ersten Seminartermin vorgelegten Liste. Zugrundeliegende Literatur wird i.d.R. vom Dozenten gestellt. Die Erschließung der Literatur und die Vortragsvorbereitung werden vom Dozenten individuell betreut. Die Themen stammen u.a. aus folgenden Gebieten:

- Grundlagen nichtlinearer Regelungssysteme
- Stabilitätsfragen, z.B. Abschätzung von Einzugsbereichen
- Ereignisdiskrete Regelungen

<ul style="list-style-type: none"><li>• Hybride und abstraktionsbasierte Regelungen</li><li>• Anwendung spezieller Optimierungsverfahren auf regelungstechnische Probleme</li></ul>
<b>Literatur</b>
Wird jeweils zu Beginn des Moduls bekanntgegeben und i.d.R. vom Dozenten gestellt.
<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für spätere eigenständige Untersuchungen von theoretischen und angewandten Fragestellungen der nichtlinearen Regelungstechnik, z.B. im Rahmen studentischer Abschlußarbeiten.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester. Das Modul beginnt in der Regel im Wintertrimester des 2. Studienjahrs (4. Trimester). Je nach Bedarf kann das Modul auch in anderen Trimestern stattfinden.

Modulname	Modulnummer
<b>Betriebsfestigkeit</b>	1353

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. rer. nat. Jürgen Bär	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13531	VL	Betriebsfestigkeit	Pflicht	2
13532	UE	Betriebsfestigkeit	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Es wird das Bachelor-Studium von LRT sowie das Modul statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen vorausgesetzt.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls befähigt, einfache Bauteile in Bezug auf ihr Schädigungsverhalten zu beurteilen und in Kombination mit dem Modul „statische und dynamische Beanspruchung von Bauteilen“ für betriebsnah vorgeschädigte Proben durch entsprechende Berechnungsverfahren Restlebensdauerwerte zu bestimmen.
- Die Studenten werden damit in die Lage versetzt, Vorgaben für die Kontrolle und Einsatzbewertung hochbeanspruchter bauteilnaher Proben durchzuführen. Diese Fertigkeiten sind unabdingbar, um geeignete Sicherheitskonzepte in der Luft- und Raumfahrt und dem Fahrzeugbaus umzusetzen.

## Inhalt

In diesem Modul erhalten die Studierenden eine Übersicht über experimentelle und rechnerische Methoden zur Bestimmung des Schädigungsverhaltens von Strukturwerkstoffen, die einer betriebsnahen Beanspruchung ausgesetzt waren.

Den Studenten wird eine Übersicht über das grundsätzliche Schädigungsverhalten von Strukturwerkstoffen der Luft- und Raumfahrt vermittelt. Dabei werden sogenannte Lastkollektive generiert, die eine betriebsnahe Beanspruchung simulieren, der das Bauteil ausgesetzt ist. Die Lastkollektive werden in Bezug auf ihren Schädigungsgrad quantifiziert. In vielen Fällen wird als Schädigungsgröße der Schwingungsriss im Material charakterisiert. Mit Hilfe geeigneter Detektionsverfahren werden diese Risse im Bauteil erkannt und ihre weitere Entwicklung beobachtet. Geeignete, z. T. lineare Schadensakkumulationsverfahren (Palmgren/Miner) ermöglichen

es, das Schädigungsverhalten rechnerisch zu erfassen und entsprechende Restlebensdauer-Werte zu bestimmen. Mit Hilfe des „örtlichen Konzeptes“ und unter Verwendung des „Spannungsintegral-Konzeptes“ lassen sich letztendlich Lebensdauervorhersagen für beliebige Bauteilgeometrien durchführen. Die Bewertung beruht auf statistischen Grundlagen, die im Rahmen der Vorlesung unter dem Aspekt der Lebensdauervorhersage vermittelt werden.

#### Literatur

- Haibach E.: Betriebsfestigkeit . Verfahren und Daten zur Bauteilbewertung. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, 1989.
- Buxbaum O.: Betriebsfestigkeit - Sichere und wirtschaftliche Bemessung schwingbruchgefährdeter Bauteile. Düsseldorf: Verlag Stahleisen mbH., 1988.
- Schwalbe K-H.: Bruchmechanik metallischer Werkstoffe, München, Wien: Carl Hanser-Verlag, 1980.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für materialwissenschaftliche Untersuchungen und Entwicklung neuer Werkstoffe auf sämtlichen Gebieten der Luft- und Raumfahrttechnik.

Das Modul findet Anwendung in weiteren Lehrveranstaltungen, wie z.B. im Bereich Leichtbau/Strukturen.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Unkonventionelle Flugzeugkonfiguration</b>	1354

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13541	VL	Unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Vorlesung „Flugzeugentwurf“

## Qualifikationsziele

1. Der/die Studierende kennt die wissenschaftliche Vorgehensweise und historische Entwicklung der ersten unkonventionellen Fluggeräte des Flugpioniers Otto Lilienthals.
2. Der/die Studierende kennt die aktuellen gesellschaftlichen, ökologischen und technischen Trends, die die Zukunft der Luftfahrt beeinflussen werden.
3. Der/die Studierende kennt die wichtigsten technischen Konzepte auf Basis unkonventioneller Lösungen, zur Reduzierung von Emissionen in der zivilen Luftfahrt.
4. Der/die Studierende kennt die spezifischen Vor- und Nachteile verschiedener technologischer Lösungen zur Steigerung der Flugleistung oder Einsatzmöglichkeiten.
5. Der/die Studierende kennt die besonderen Probleme im Vorentwurf von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen und die Möglichkeiten zur Überwindung dieser Probleme.
6. Der/die Studierende kennt alternative Lösungsansätze im Vergleich zu klassischen Flugzeugkonfigurationen, und deren Potenziale.
7. Der/die Studierende kann den klassischen Vorentwurfsprozess auch für unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen anwenden.
8. Der/die Studierende kann basierend auf eigenen Ideen mögliche Lösungen für neue Flugzeugkonzepte methodisch erarbeiten.
9. Der/die Studierende kennt die wichtigsten Organisationen und Unternehmen, die unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen entwickeln.

10 Der/die Studierende kennt die Herausforderungen und Erfolgsfaktoren für die Entwicklung und Einführung unkonventioneller Flugzeugkonfigurationen.

#### Inhalt

Mit der Einführung von unbemannten Luftfahrzeugen im militärischen Sektor, wurden in letzter Zeit vermehrt revolutionäre und unkonventionelle Flugzeugkonfigurationen eingeführt, deren Vorteile zum Beispiel in einer verbesserten Missionserfüllung liegen. Der Entwurf von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen birgt allerdings im Vergleich zu konventionellen Konfigurationen zusätzliche Schwierigkeiten. So ist z.B. eine Massenabschätzung aufgrund fehlender Referenzdaten sehr fehlerbehaftet.

Die wichtigsten Problemstellungen werden erörtert und anhand von Beispielen wird gezeigt, mit welchen Methoden der Entwurf von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen möglich ist. Hierbei werden Kenntnisse im klassischen Flugzeugentwurf vorausgesetzt.

Für die Analyse von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen werden Methoden zur qualitativen und quantitativen Bewertung vorgestellt.

Es werden Möglichkeiten zur Erstellung von parametrischen Modellen gezeigt, die für die Dimensionierung des Flugzeugentwurfs erforderlich sind. Im Bereich geringer Datenmengen, können z.B. hybride Methoden zur Approximation von aerodynamischen Derivativen herangezogen werden.

#### Schwerpunkte:

- Technologische Trends in der zivilen und militärischen Luftfahrt (Revolution vs. Evolution)
- Prototypen- und Demonstratorbau ausgewählter Organisationen und Unternehmen.
- Entwurf von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen anhand von Beispielen (BWB, Sagitta UCAV Demonstrator, Rotorflugzeug)
- Erstellen von parametrischen Modellen
- Bewertung von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen
- Erfolgsfaktoren für die Entwicklung und Einführung unkonventioneller Flugzeugkonfigurationen

#### Literatur

- Austin, R.: Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. AIAA Education Series. ISBN-13: 978-1-60086-759-0, 2010
- Forrester, A., et. al.: Engineering Design via Surrogate Modelling: A Practical Guide. Progress in Astronautics and Aeronautics Series. ISBN-13: 978-1-56347-955-7, 2008

- Mueller, T.J.: Fixed and Flapping Wing Aerodynamics for Micro Air Vehicle Applications. Progress in Astronautics and Aeronautics Series. ISBN-13: 978-1-56347-517-7, 2001
- Raymer, D.P.: Aircraft Design: A conceptual Approach. AIAA Education Series, 1992
- Roskam J.: Airplane Design. Parts I-VIII. Kansas, 1989
- Kroo, I.: Nonplanar Wing Concepts for increased Aircraft Efficiency, VKI lecture series on Innovative Configurations and Advanced Concepts for Future Civil Aircraft, 2005
- Ramamurti, R., et al.: Computational fluid dynamics study of unconventional air vehicle configurations
- Dufresne, S., et al.: Variable Fidelity Conceptual Design Environment for Revolutionary Unmanned Aerial Vehicles, Journal of Aircraft, 2008

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

**Verwendbarkeit**

Die Inhalte des Moduls liefern die Grundlagen für den Entwurf und die Bewertung von unkonventionellen Flugzeugkonfigurationen.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Praktikum Optimale Steuerung</b>	1355

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts	Wahlpflicht	9

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	48	42	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13551	P	Optimale Steuerung - Praktikum	Pflicht	1
13552	P	Optimale Steuerung - Praktikum	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse, wie sie in Modulen zur „Höheren Mathematik“, „Ingenieurmathematik“ oder „Mathematische Methoden“ vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden können Optimalsteuerungsprobleme in der Robotik, der Flugdynamik und Kraftfahrzeugsimulation selbstständig modellieren.

Die Studierenden kennen numerische Verfahren zur Lösung von Optimalsteuerungsproblemen und können Softwarepakete wie OC-ODE anwenden, um konkrete Optimalsteuerungsprobleme zu lösen.

Die Studierenden können die berechneten Lösungen hinsichtlich Realisierbarkeit interpretieren und können die Lösungen in reale Systeme (Manipulator, Laufkatze, LEGO Mindstorms Roboter) implementieren.

Die Studierenden sind mit Regelungsmethoden zur Verfolgung einer Sollbahn vertraut und kennen sich mit der Verwendung und Verwertung von Sensorinformationen aus.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Praktikum „Optimale Steuerung“ praktische Kenntnisse bei der Umsetzung von Optimalsteuerungsalgorithmen zur Steuerung von Robotern, Fluggeräten

<p>(Quadcopter) und Fahrzeugen. Das Modul besteht aus einem kurzen Vorlesungsteil und einem Praxisteil zur praktischen Umsetzung des Vorlesungsinhalts. Inhalt der Vorlesungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der optimalen Steuerung, Modellierung, Transformationstechniken</li> <li>• Einführung in numerische Lösungsverfahren für Optimalsteuerungsprobleme, insbesondere Diskretisierungsverfahren</li> <li>• Einfache Regelungsstrategien</li> </ul> <p>Inhalt des Praxisteils:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tutorial für das Softwarepaket OC-ODE</li> <li>• Implementierung einfacher Optimalsteuerungsprobleme unter Verwendung von LEGO Mindstorms, Modellfahrzeugen, Modellmanipulatoren und Quadcoptern. Beispiele: doppelter Fahrspurwechsel, Kolonnenfahrten, Roboterbewegung, schwingungsminimale Fahrt einer Laufkatze</li> <li>• Verfolgung optimaler Bahnen durch Regelungsstrategien</li> <li>• Vergleich der Lösungen durch Wettkampf</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Ausarbeitung. Benoteter Schein
<b>Verwendbarkeit</b>
Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in Modulen aus den Bereichen optimale Steuerung. Praxiserfahrung bei der Steuerung realer Systeme.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung</b>	1356

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. PD Michael Johlitz	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13561	VÜ	Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Grundlagen der Technischen Mechanik und Freude am experimentellen Arbeiten.
Qualifikationsziele
Die Studierenden erlernen die wichtigsten Grundlagen der experimentellen Mechanik und der Materialmodellierung. Hierzu gehören auf der experimentellen Seite das selbstständige Einrichten, Durchführen und Auswerten von diversen Experimenten zur Materialcharakterisierung. Auf der theoretischen Seite werden sie mit den Methoden der Materialmodellierung sowie der Umsetzung dieser Gleichungen im Rahmen moderner Simulations-Software vertraut gemacht. Das Verbindungsglied zwischen Theorie und Praxis bildet die Parameteridentifikation. Diese Lehrveranstaltung bildet die Grundlage für Masterarbeiten auf dem Gebiet der experimentellen Mechanik und Materialmodellierung und ist eine gute Vorbereitung der angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure auf das Berufsleben in großen industriellen Einrichtungen.
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung und Einteilung der Materialklassen</li> <li>• Umsetzung, Durchführung und Auswertung von Experimenten (Zugversuch, Scherversuch, Kompressionsversuch, Thermisch-mechanische Analyse)</li> <li>• Grundlagen der Materialmodellierung (Elastizität, Viskoelastizität, Plastizität und Schädigung)</li> <li>• Numerische Umsetzung der Materialgleichungen</li> <li>• Identifikation von eingeführten Modelparametern</li> <li>• Simulation und Verifikation von Modellen anhand von Experimenten</li> </ul>
Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Johlitz: Materialmodellierung, Vorlesungsskript der Universität des Saarlandes (2009)</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Lion: Einführung in die lineare Viskoelastizität, Vorlesungsskript der UniBw München (2007)</li><li>• Haupt: Continuum Mechanics and Theory of Materials, Springer Verlag</li><li>• Betten: Kontinuumsmechanik: Elastisches und inelastisches Verhalten isotroper und anisotroper Stoffe. Mit durchgerechneten Lösungen, Springer Verlag</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Masterarbeiten auf dem Gebiet der experimentellen Mechanik, der Materialmodellierung sowie der numerischen Simulation im Rahmen von Matlab und der Finite Elemente Berechnung.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Mess- und Prüfverfahren für Turbomaschinen und Flugantriebe</b>	1390

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Stefan Bindl	Zusatzfach	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13901	VL	Mess- und Prüfverfahren für Turbomaschinen und Flugantriebe	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Antriebssysteme (zwingend), Luftfahrtantriebe, Antriebskomponenten (empfohlen)

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden erhalten einen umfassenden Einblick in die Planung, Durchführung und Bewertung von Versuchen mit Flugtriebwerken oder deren Komponenten.
- In diesem Zusammenhang werden die für diese Art von Maschinen spezifischen Besonderheiten herausgearbeitet und vermittelt.
- Nach dem Besuch der Vorlesung sollen die Studierenden in der Lage sein derartige Versuchsaufbauten und Daten eigenständig einzuschätzen und zu bewerten.

## Inhalt

Den Studierenden werden in dem Modul die folgenden Inhalte vermittelt.

- Einführung: Eine kurze Rekapitulation des in den empfohlenen Mastervorlesungen besprochenen Stoffes mit dem Augenmerk auf die für diese Vorlesung relevanten Teilaspekte.
- Sensorik: Es wird ein Überblick über die verschiedenen in der Versuchstechnik angewandten Sensorarten gegeben. Deren Aufbau und Messprinzipien werden erörtert und die Vor- und Nachteile bei der Nutzung in Gasturbinen beschrieben.

Des Weiteren werden die speziellen Anforderungen bei der Applikation an Turbomaschinen ausgeführt.

- Messsysteme: Aufbauend auf der Sensorik werden die Messsysteme und die Anforderungen, die an diese gestellt werden, thematisiert. Dabei wird das Wissen zur Auswahl eines auf die Messaufgabe passenden Systems vermittelt. Zudem werden die Eckpunkte der Signalkonditionierung und –verarbeitung besprochen.
- Prüfstände: Im abschließenden Teil der Vorlesung wird ein umfangreicher Überblick über die verschiedenen Arten von Triebwerkstests gegeben. Dabei wird insbesondere auf die für diese Tests notwendige Infrastruktur und ihre jeweiligen Besonderheiten eingegangen.

Je nach terminlicher Vereinbarkeit wird ein Triebwerktest an der Triebwerkversuchsanlage des Instituts für Strahlantriebe zusammen mit den Studierenden durchgeführt. Dies gibt die Möglichkeit das Erlernte praxisnah zu vertiefen.

#### Literatur

- R. Lerch: Elektrische Messtechnik: Analoge, digitale und computergestützte Verfahren, Springer-Lehrbuch, 2010
- N. Weichert, M. Wülker: Messtechnik und Messdatenerfassung, Oldenbourg Verlag, 2010

#### Leistungsnachweis

schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Aneignung wichtiger Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Versuchsplanung und angewandte Forschung und Entwicklung im Bereich Triebwerke und Turbomaschinen.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester.  
Das Modul beginnt jedes Studienjahr jeweils im Wintertrimester.  
Als Startzeitpunkt ist das Wintertrimester im 2. Studienjahr vorgesehen.

Modulname	Modulnummer
<b>Management of Technology based Firms</b>	1406

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold	Wahlpflicht	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	4	146	5

#### Empfohlene Voraussetzungen

Keine

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden entwickeln ein Prozessverständnis für Führung und Management sowohl in Bezug auf jährlich wiederkehrende Führungsprozesse als auch auf die Führung von Programmen und Projekten.

Die Studierenden kennen die grundlegenden Theorien und Konzepte der Führungs- und Managementlehre. Sie können grundlegende Führungsprozesse erkennen und die darin verwendeten Methoden und Führungssysteme anwenden. Darüber hinaus sind die Studierenden in der Lage, ein Themengebiet selbstständig zu erarbeiten und in wissenschaftsüblicher Form darzulegen, was als Übung für die Masterarbeit dienen soll.

#### Inhalt

Die Vorlesung vermittelt eine Einführung in die Führungslehre, Management- und Führungsprozesse.

Inhalt der Vorlesung:

- Einführung in das Management
- Jährliche Führungsprozesse im Unternehmen
- Budgetierung
- Prozessmanagement
- Programmmanagement
- Projektmanagement
- Führungs- und Kontrollsysteme

In Kleingruppen werden vier Schwerpunktthemen anhand von wissenschaftlichen Artikeln erarbeitet und diskutiert. Unter intensiver wissenschaftlicher Betreuung erarbeiten die Kleingruppen mehrere Zwischenberichte und einen Abschlussbericht. Dabei stehen das Selbststudium und ein wissenschaftliches Arbeiten im Vordergrund.

**Leistungsnachweis**

Notenschein

**Verwendbarkeit**

Wissenschaftliche Forschung in Technologie, Innovation und Entrepreneurship, Managementfunktion in technologie-basierten Unternehmen und Organisationen, strategischen Management, Unternehmensgründung.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Mensch-Maschine Interaktion ab Jahrgang 2013 ff</b>	1413

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch	Wahlpflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14131	VL	Mensch-Maschine Interaktion	Pflicht	2
14132	SÜ	Mensch-Maschine Interaktion	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

keine

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden kennen die relevanten Gestaltungsparameter auf beiden Seiten einer Mensch-Maschine Interaktion und ihre wechselseitige Abhängigkeit.
- Sie besitzen das Basiswissen über die relevanten Aspekte der menschlichen Wahrnehmung, der Gedächtnisleistungen, der kognitiven Fähigkeiten und der Biomechanik des Menschen.
- Sie kennen die bisher in der Technik und Informatik erarbeiteten Schnittstellenlösungen in Hard- und Software, Ihre Vor- und Nachteile.
- Sie können bei gegebenen Anforderungen und Randbedingungen eigenständig einfache neue Schnittstellen entwerfen und verfügen über das Methodenwissen, diese im Vergleich zu anderen Lösungen experimentell und theoretisch fundiert zu bewerten.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul "Mensch-Maschine Interaktion" einen detaillierten Einblick in die theoretischen Grundlagen und Möglichkeiten der Gestaltung, sowie die Vor- und Nachteile konkreter Realisationen solcher Schnittstellen. Dies erfolgt auf der Basis der Vermittlung von Grundlagen und Modellen der menschlichen Wahrnehmung, Kognition und Informationsverarbeitung. Der Vorlesungsstoff wird an konkreten Beispielen verdeutlicht und in praktischen Übungen vertieft.

- Zu Beginn erfolgt eine Einführung in die menschliche Informationsverarbeitung mit Beispielen von aktuellen Aufmerksamkeitstheorien, Kognitions- und Gedächtnismodellen.

- Eine vollständige Darstellung der menschlichen sensorischen Wahrnehmung mit besonderer Betonung der visuellen Wahrnehmung verdeutlicht die zugrunde liegenden physiologischen und die mit ihnen einhergehenden mentalen Prozesse. Aus beiden entsteht ein Verständnis für die Komplexität der wechselseitigen Interaktion an Schnittstellen. Schon daraus lässt sich ableiten, wie gute Schnittstellen konstruiert werden müssen.
- Es werden alle Leistungsparameter einer guten, erfolgreichen Schnittstellengestaltung angesprochen. Dabei wird besonderer Wert auf die Vermittlung von wissenschaftlichen Methoden und Experimentalverfahren zur Schnittstellenbewertung gelegt.
- Neben den bisherigen, teilweise rein technisch, teilweise noch mechanisch arbeitenden Schnittstellen gewinnen überwiegend oder reine Softwarelösungen für Schnittstellen immer mehr an Bedeutung. Aus diesem Grund wird in Vorlesung und Übung besonderer Wert auf die Vermittlung auch von Kenntnissen in Software-Ergonomie bis hin zu allerneuesten entsprechenden Technologien gelegt.
- Im praxisorientierten Teil werden konkrete Anzeigen und Bedienelemente einzeln und als Funktionsgruppen betrachtet, ihre Entwicklung bis heute vorgestellt und diskutiert. Die Veranstaltung schließt mit einer Darstellung und Diskussion moderner Schnittstellenlösungen von komplexen Flugzeugarbeitsplätzen bis hin zu Fahrerassistenzsystemen des Automobilsektors.

#### Literatur

- Birbaumer N., Schmidt R.F.: Biologische Psychologie. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2006.
- Bruce V., Green P.R.: Visual Perception. London: Lawrence Erlbaum Associates, 1992.
- Charwat H.J.: Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation. München: Oldenbourg Verlag, 1992.
- Jukes M.: Aircraft Display Systems. London: Professional Engineering Publishing Limited, 2004.
- Reason J.: Human Error. Cambridge: University Press, 1990.
- Schmidtke H.: Lehrbuch der Ergonomie. München: Hanser Verlag, 1981.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

#### Verwendbarkeit

Die Gestaltung wirksamer Schnittstellen zur Interaktion zwischen Benutzer und technischen Systemen gehört zu praktisch allen Aspekten ingenieurtechnischen,

konstruktiven Arbeitens. Absolventen des Master-Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik werden immer vor der Frage stehen, wie Systemzustände einem Nutzer/Operateur angezeigt werden und auf welche Art und Weise dieser dem System seine Wünsche/Direktiven mitteilen soll. Auch die ständig steigende Flexibilität der Reaktionsmöglichkeiten technischer Systeme auf variable Anforderungen und Einsatzszenarios macht die gute Gestaltung der Schnittstelle zu einer herausfordernden und anspruchsvollen Aufgabe, die mit "common sense" bzw. herkömmlich Lösungen nicht mehr befriedigend bewältigt werden kann.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet jährlich im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme</b>	1481

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Johannes Bals	Zusatzfach	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14811	VL	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	Pflicht	2
14812	UE	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Höhere Mathematik I-III, Technische Mechanik, Grundlagen der Elektrotechnik

## Qualifikationsziele

Nach der Teilnahme an den Modulveranstaltungen ist der Studierende in der Lage, multidisziplinäre Modellierungen und Simulationen großer Systeme mit mechanischen, elektrischen, thermischen und regelungstechnischen Komponenten durchzuführen, insbesondere im Hinblick auf Hardware-in-the-Loop Simulation und "embedded control". Diese Lehrveranstaltung bildet die Grundlage für Masterarbeiten auf dem Gebiet der Systemsimulation und stellt eine Ergänzung zu anderen Lehrveranstaltungen der Fakultät dar.

## Inhalt

Diese Vorlesung bietet eine Einführung in die multidisziplinäre Modellierung und Simulation großer Systeme in der Luft- und Raumfahrt mit mechanischen, elektrischen, thermischen und regelungstechnischen Komponenten. Hierzu werden objektorientierte Modellierungsmethoden mit der offenen Modellierungssprache Modelica eingesetzt. Viele Simulationsumgebungen basieren auf Modelica, insbesondere: CATIA Systems, Dymola, JModelica.org, MapleSim, OpenModelica, SimulationX, Wolfram SystemModeler.

- Einführung, Anwendungsbeispiele aus Luft- und Raumfahrt, Robotik und Mechatronik
- Grundelemente der Modelica-Sprache, Objektdiagramme
- Mathematische Beschreibung kontinuierlicher Systeme (differential- algebraische Gleichungen)
- Unstetige und strukturvariable Systeme

- Modellbibliotheken
- Symbolverarbeitung und Code-Generierung
- Numerische Lösungsverfahren

Ergänzend zur Vorlesung werden praktische Rechnerübungen mit Anwendungsbeispielen angeboten. Die Übung findet als Blockveranstaltung am Robotik und Mechatronik Zentrum in Oberpfaffenhofen statt. Beispiele und Übungen werden mit der Modelica-Simulationssoftware Dymola von Dynasim/Dassault Systèmes durchgeführt. Material für weiterführende Übungen am eigenen Rechner (Aufgabenstellungen und Lösungen) wird zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Blockveranstaltung besteht auch Gelegenheit zum Einblick in aktuelle Echtzeitanwendungen von Modelica in DLR-Laboren. Die Terminabstimmung für die Blockvorlesung erfolgt in der ersten Vorlesung.

#### Literatur

- Dierk Schröder: Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen, 3. Auflage, Kapitel 21 "Objektorientierte Modellierung von Antriebssystemen" von M. Otter, S. 1049 - 1165, Springer Verlag 2009.
- Michael Tiller: Introduction to Physical Modeling with Modelica. Kluwer Academic Publisher, 2001.
- Peter Fritzson: Introduction to Modeling and Simulation of Technical and Physical Systems with Modelica, Wiley, 2011, 211 Seiten.
- Peter Fritzson: Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 2.1. Wiley-IEEE Press, 2004, 944 Seiten.
- Francois Cellier, Ernesto Kofman: Continuous System Simulation. Springer Verlag, 2005.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

#### Verwendbarkeit

Das Modul kann in allen technisch orientierten Bereichen des LRT-Studiums verwendet werden.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken</b>	1491

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Reinaldo Gomes	Zusatzfach	8

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14911	VL	Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken	Pflicht	2
14912	UE	Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Antriebssysteme, Grundlagen der Wärmeübertragung (zwingend), Luftfahrtantriebe, Antriebskomponenten (empfohlen)
Qualifikationsziele
Mit den in der Vorlesung erworbenen Kenntnissen sind die Studierenden in der Lage den weiten Bereich des Wärmehaushalts und der Kühlungsproblematik in Triebwerken und Gasturbinen ganzheitlich zu erfassen. Dazu gehören Detailkenntnisse über Verfahren zur Bestimmung der Wärmeübertragung und der Kühleffektivität sowie deren Interaktion miteinander zur umfassenden Bewertung der Konzepte.
Inhalt
<p>Im Modul werden den Studierenden grundlegende und Detailkenntnisse in Wärmebelastungen und Kühlkonzepte in Gasturbinen und Flugtriebwerke vermittelt. Darunter gehören:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Joule-Prozess und Einflüsse auf den Wirkungsgrad, insbesondere der Temperatureinfluss. Der Einfluss der Temperatur auf die Leistungsbilanz als Grund für aufwendige Kühlungsmaßnahmen.</li> <li>• Wärmehaushalt und Kühlung in Turbomaschinen, Sekundärluftversorgung und -betrieb.</li> <li>• Einflüsse auf die Wärmeübertragung in der Turbine.</li> <li>• Verschiedene Kühlkonzepte in der Turbine und deren Einfluss auf die Hauptströmung.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Experimentelle und numerische Verfahren zur Bestimmung der Wärmeübertragung und der Kühleffektivität.</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Anderson, D.A.; Tannehill, J.C.; Pletcher, R.H.: Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Hemisphere Publishing</li><li>• Boyce, P.B.: Gas Turbine Engineering Handbook, GPP</li><li>• Cohen, H.; Rogers, G.F.C.; Saravanamuttoo, H.I.H: Gas Turbine Theory, Longman Press</li><li>• Münzberger, H.G.: Flugantriebe, Springer Verlag</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Hausarbeit und mündliche Prüfung (30 Minuten)
<b>Verwendbarkeit</b>
Moderne Gasturbinen und Triebwerke sind ohne Kühlungsmaßnahmen größtenteils nicht vorstellbar. Die im Modul erworbenen Kenntnisse über die Herkunft der Daten und über die Interaktion der Technologien erlauben den Studierenden eine geeignete Bewertung der Kühlungskonzepte für die Auslegung der Turbomaschine.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/ Thermofluidodynamik</b>	1492

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Tobias Sander	Zusatzfach	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14921	VÜ	Optische Messmethoden in der Aerodynamik/Thermofluidodynamik	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
----------------------------

Vorausgesetzt wird das Modul „Thermodynamik und Grundlagen der Wärmeübertragung“.

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

Neben umfassenden Kenntnissen in optischen Grundlagen besitzt der Studierende ein fundiertes Wissen zur Funktionsweise von messtechnischen Komponenten wie z. B. Laser, Detektoren und Spektrografen. Er kann zu einem anspruchsvollen messtechnischen Problem die geeignete Messmethode definieren und besitzt Kenntnisse zum Aufbau des entsprechenden Verfahrens.

Inhalt
--------

Die Studierenden erwerben im Modul „Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/ Thermofluidodynamik“ Kenntnisse über die Funktionsweise wesentlicher Bestandteile optischer Messtechniken sowie über den physikalischen Hintergrund, die Anwendbarkeit und die Realisierung von optischen Messverfahren unter den schwierigen Bedingungen von Hochenthalpieströmungen. Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Zunächst werden wesentliche Grundlagen zur Optik wiederholt und in den Bereichen vertieft, die eine besondere Bedeutung für das Verständnis der Lehrinhalte besitzen.
- Anschließend werden die für optische Messverfahren eingesetzten Komponenten anhand deren Funktionsweise erklärt und ähnliche Gerätetypen hinsichtlich deren bevorzugten Einsatzbereichs gegeneinander abgegrenzt.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Den Abschluss bildet die Beschreibung gängiger optischer Messverfahren. Dabei wird das zugrundeliegende physikalische Prinzip erklärt und der mögliche praktische Einsatzbereich erläutert. Ferner werden typische Messaufbauten gezeigt, die mit den bereits behandelten Komponenten realisiert werden können.</li><li>• In einer vorlesungsbegleitenden Laborübung werden die theoretischen Lehrinhalte an realen Messaufbauten vertieft und angewendet.</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• W. Demtröder: Laserspektroskopie, Grundlagen und Techniken, Springer-Verlag, 1993</li><li>• J. Eichler, H.-J. Eichler: Laser, Grundlagen, Systeme, Anwendungen, Springer-Verlag, 1989</li><li>• A. C. Eckbreth: Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species, Gordon and Breach Publishers, 1996</li><li>• G. S. Settles: Schlieren and Shadowgraph Techniques, Springer-Verlag, 2001</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
In der Luft- und Raumfahrttechnik sind die Lehrinhalte notwendig, um unter den schwierigen Bedingungen von Hochenthalpieströmungen eine geeignete Messtechnik zu identifizieren und die dazu erforderlichen Bauteile zu benennen. Ferner liefert das Modul durch die Wiederholung und Vertiefung von Grundlagen einen wichtigen Grundstein für praktische Anwendungen bildgebender Verfahren.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Treibstoffe für raumfahrtrelevante Antriebe	1501

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Helmut Ciezki	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
180	60	120	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15011	VÜ	Treibstoffe für raumfahrtrelevante Antriebe	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Der Besuch der Vorlesungen Aerothermodynamik, Gasdynamik, Raumfahrttechnik und/oder Raumfahrtantriebe wird empfohlen.

## Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung des Einsatzes unterschiedlicher Treibstoffe bei technischen Problemstellungen hinsichtlich Machbarkeit, Technologie und zukünftigen Trends einordnen.
2. Die Studierenden können für einfache Anwendungsfälle Konzepte mit unterschiedlichen Treibstoffen abschätzen, sie berechnen und bewerten.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, für die jeweiligen Anwendungen sinnvolle Konfigurationen vorschlagen zu können.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul „Treibstoffe für raumfahrtrelevante Antriebe“ das Grundwissen und das Verständnis bezüglich der Eigenschaften, des Umgangs und des Einsatzes von Treibstoffen und Treibstoffkombinationen im Gebiet raumfahrtrelevanter Antriebe (RFRA). Hierbei werden nicht nur zurzeit genutzte Treibstoffe besprochen sondern auch mögliche zukünftige und auch „grüne“ Treibstoffe vorgestellt und diskutiert.

1. Die Studierenden erhalten eine Einführung in die Bedeutung wichtiger als auch neuer Treibstoffe zur Lösung von Fragestellungen aus den Bereichen der Raumfahrt- und Hochgeschwindigkeitsantriebstechnik.
2. Ausgehend von den theoretischen Grundlagen werden anwendungsrelevante Aspekte zum Einsatz unterschiedlicher Treibstofftypen diskutiert, wobei auch auf Herstellung, Einsatzanforderungen, Umwelteinflüsse, Handhabung, Sicherheitsanforderungen, etc. eingegangen wird. Behandelt werden insbesondere folgende Treibstoffgruppen und die Randbedingungen ihrer Einsatzbereiche, aber auch übergreifende Aspekte:

- Flüssigtreibstoffe
- Festtreibstoffe
- Hydride Treibstoffkombinationen
- Gel-Treibstoffe
- Fortschrittliche, z.T. auch „grüne“ Treibstoffe
- Staustrahlantriebe und ihre Brenn- und Treibstoffe
- Sicherheitsaspekte
- Fernere Zukunft

Nach Möglichkeit wird eine Exkursion zum Testzentrum des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Lampoldshausen angeboten.

#### Literatur

- A. Davenas, "Solid Rocket Propulsion," Pergamon Press, Oxford, 1993
- M.J. Chiaverini, K.K. Kuo, "Fundamentals of Hybrid Rocket Combustion and Propulsion," AIAA, Reston, USA, 2007
- W.H. Heister, D.T. Pratt, "Hypersonic Airbreathing Propulsion," AIAA, Reston, USA, 1994
- H.K. Ciezki, K.W. Naumann, V. Weiser, "Status of Gel Propulsion in the Year 2010 with a Special View on the German Activities," Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress 2010, Paper-Nr. 1326, 31.8.-2.9.2010, Hamburg

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 45 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten.

#### Verwendbarkeit

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Raketen- und Staustrahlantriebe.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres (4. Trimester) statt.

Modulname	Modulnummer
Einführung in das Risikomanagement	1515

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Bernhard Katzy	Pflicht	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	48	72	4

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15151	VL	Einführung in das Risikomanagement	Pflicht	2
15152	UE	Einführung in das Risikomanagement	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Höhere Trimester BA und Anfangstrimester Master

Qualifikationsziele
<p>Erlangung des Basis-Wissens von Risikomanagement hinsichtlich</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozess</li> <li>• Methoden</li> <li>• Tools</li> <li>• Context zum übergeordneten Corporate Governance</li> </ul>

Inhalt
<p>Der Prozess des Risikomanagement wird vorgestellt inclusive der wichtigen Subprozesse: Identifikation, Bewertung, Behandlung und Controlling. Methoden und Werkzeuge werden für jeden Subprozess angesprochen. Beispiele aus der Praxis von militärischen Luftfahrtprojekten werden zur Veranschaulichung herangezogen. Als wichtiges Werkzeug wird auf das Risk Management Tool gesondert eingegangen. Ein eigenes Kapitel widmet sich der Thematik Risiko Kultur, welche einen großen Einfluss auf die Qualität des Prozesses ausübt. Das Chancen Management als Pendant zum Risikomanagement wird beschrieben, da der Prozess gleich ist und nur die Terminologie unterschiedlich ist. Da Risiko- und Chancenmanagement ein elementarer Bestandteil des Enterprise Risk Management sind, wird gegen Ende des Moduls ERM vorgestellt.</p>

Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Project Management Book of Knowledge (PMBok®), Project Management Institute, 2004</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• ISO 3100-2009</li><li>• <a href="http://www.coso.org">www.coso.org</a></li><li>• Deutscher Corporate Governance Kodex: DCG</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein  Zugelassene Hilfsmittel: ein doppelseitig selbstbeschriebenes Blatt im Format DIN A4.
<b>Verwendbarkeit</b>
Relevant für Mitarbeit und/oder Leitung von Projekten
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester.  Das Modul wird in jedem Studienjahr im Frühjahrstrimester angeboten.

Modulname	Modulnummer
Fernflugkörper	1516

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Markus Schiller	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	48	72	4

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15161	VL	Fernflugkörper	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Der Besuch von relevanten Vorlesungen der Raumfahrt wird empfohlen.

#### Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung solcher Waffen im Rahmen potentieller Bedrohungen und das Risiko eines militärischen Konflikts mittels analytischer Methoden abschätzen.
2. Die Studierenden können solche Systeme auf Basis nur weniger Informationen hinsichtlich ihrer technischen Leistungsfähigkeit und vor allem Status gut bewerten.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, bei Diskussionen um die waffentechnische Bedrohung durch andere Länder kompetente Beiträge zur korrekten Bewertung der wahren Lage zu leisten.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben Kenntnisse auf vier unterschiedlichen Gebieten:

- Bewertung von Raketenwaffen im Hinblick auf Bedrohung und Verteidigungsmöglichkeiten sowie geeigneter Gegenmaßnahmen.
- Technische Gestaltungsmöglichkeiten der Geräte und Berechnungsmethoden zur Systemauslegung und Rekonstruktion einschließlich des dazu notwendigen historischen Hintergrunds mit der Darstellung früherer Lösungen.
- Methodik der analytischen Informationsbewertung unter Berücksichtigung einer industriellen Realisierung in den betrachteten Ländern.
- Übersicht der technischen Ausführungen der wichtigsten Systeme (Raketen und eigentliche Waffen) mit ihren Leistungswerten und der wichtigsten Hintergrundaspekte.

<b>Leistungsnachweis</b>
Mündliche Prüfung 20 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für fachliche Mitarbeit in Gremien der Bundeswehr und relevanter Ministerien für Abrüstung und Rüstungskontrolle sowie bei der Beschaffung von Wehrmaterial.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester. Es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt. Das Modul wird jedes Studienjahr angeboten.

Modulname	Modulnummer
Auslandsaufenthalt	1519

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
	Zusatzfach	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	0

Modulname	Modulnummer
Munich Aerospace	1520

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
	Zusatzfach	0

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	36	54	0

Modulname	Modulnummer
<b>Nutzerzentriertes Interaktionsdesign</b>	1805

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch	Wahlpflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18051	VL	Nutzerzentriertes Interaktionsdesign	Pflicht	2
18053	UE	Nutzerzentriertes Interaktionsdesign	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

keine

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden erhalten ein Grundverständnis, wie man interaktive Produkte unter besonderer Berücksichtigung der Benutzer- und Aufgabenerfordernisse entwickeln kann. Ziel dieses Entwurfsprozesses ist das Design von gebrauchstauglichen Produkten, deren Benutzung einen positiven Eindruck beim Nutzer hinterlässt.
- Die Teilnehmer kennen die grundlegenden Gestaltungsprinzipien des Interaction Designs zur Erstellung interaktiver Produkte. Die Teilnehmer kennen die Grundlagen der menschlichen Informationsverarbeitung und deren Konsequenzen für die Gestaltung interaktiver Produkte.
- Die Studierenden kennen individual- und sozialpsychologische Aspekte der Generierung innovativer Ideen und können dementsprechend fördernde Maßnahmen entwickeln, bzw. Störfaktoren minimieren.
- Die Teilnehmer sind in der Lage eigene Interaktionsdesigns für technische Produkte zu erstellen.
- Die Teilnehmer kennen grundlegende Evaluationsverfahren zur Bewertung der Usability und User Experience interaktiver Produkte.

## Inhalt

In dieser interaktiven und interdisziplinären Lehrveranstaltung lernen Studierende, systematisch Ideen für innovative, nutzergerechte Mensch-Technik Schnittstellen zu generieren, diese prototypisch umzusetzen und in Hinblick auf verschiedene Usability und User Experience Kriterien zu testen.

Das Modul besteht aus einem Vorlesungsteil und einem Übungsteil zur praktischen Umsetzung des Vorlesungsinhalts. In diesem Übungsteil werden in Gruppen auf der

Basis eigenständig durchgeführter Nutzerforschung Prototypen erstellt und in Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit und User Experience evaluiert.

Inhalt der Vorlesungen:

- Einführung in die nutzerzentrierte Produktentwicklung
- Aspekte menschlicher Informationsverarbeitung und Motivation bei der Generierung innovativer Ideen
- Sozialpsychologische Prinzipien der Kreativität
- Führungsverhalten und Innovation
- Kognitive, soziale und affektive Gestaltungsaspekte
- Multimodale Schnittstellengestaltung
- Nutzerakzeptanz, Usability und User Experience
- Design Metaphern und Prototyping
- Evaluation der User Experience und Usability

Inhalt der Übungen:

- Methoden der Ideengenerierung, Kreativitätstechniken
- Aufgaben- und Anforderungsanalysen
- Erstellung eines Medium-Fidelity Prototypen
- Durchführung einer User Experience Evaluation

#### Literatur

- Krug, S. (2014). Don't make me think. Revisited. A common sense approach to web and mobile usability. Indianapolis: New Riders.
- Moser, C. (2012). User Experience Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Rogers, Y., Sharp, H., Preece, J. (2011). Interaction Design: Beyond Human Computer Interaction. London: John Wiley & Sons.
- Sarodnik, F. & Brau, H. (2011). Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendung. 2. Aufl. München: Huber Verlag.
- Schweibenz, W. (2004) Zielgruppenorientiertes Interaktionsdesign mit Personas. Information Wissenschaft und Praxis. 55(3), S. 151-158.
- Wigdor, D. & Wixon, D. (2011). Brave NUI World. Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten (ohne Hilfsmittel) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul setzt die Studierenden in die Lage, systematisch Ideen für innovative, nutzergerechte technische Produkte zu generieren, diese prototypisch umzusetzen und die Usability und User Experience fachgerecht zu testen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet jährlich im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Kontaktprobleme in der Mechanik</b>	1806

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. sc. math. habil. Joachim Gwinner	Wahlpflicht	0

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18061	VÜ	Kontaktprobleme in der Mechanik	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Hilfreich wären Vorkenntnisse in Optimierung, partiellen Differentialgleichungen oder in der Variationsrechnung, sind aber nicht notwendig

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden erhalten einen kurzen Abriss der linearen Elastizitätstheorie.

- Die Studierenden lernen verschiedene Kontaktprobleme und deren Variationsformulierung kennen. Sie erhalten einen Einblick in die zugrundeliegenden analytischen Hilfsmittel.
- Die Studierenden erwerben Kenntnisse in verschiedenen Methoden zur numerischen Behandlung von Kontaktproblemen und lernen diese bewerten. Sie erhalten einen Einblick in die moderne Fehleranalyse der Finite-Elemente-Methoden (FEM) und iterativer Verfahren hinsichtlich Konvergenzaussagen und Fehlerabschätzungen.

#### Inhalt

In den letzten Jahren ist das Interesse an der Untersuchung von Kontaktproblemen elastischer Körper sowohl in der Industrie wie auch in der Wissenschaft ständig gestiegen. Der Anwendungsbereich der Kontaktprobleme ist sehr breit und reicht von der Untersuchung von Klebeverbindungen, Sandwich- und Verbundstrukturen, numerischen Crashsimulationen in der Automobil- und Flugzeugindustrie bis hin zur Biomechanik, wo z. B. künstliche Gelenke zu untersuchen sind.

In dieser Vorlesung werden zunächst nach einem Abriss der linearen Elastizitätstheorie Modellierungen diskutiert, die zu lösbaren Problemen führen: Stempelprobleme, Kontaktproblem von H. Hertz.

Danach werden verschiedene Problemklassen eingeführt, wie z.B. einseitige Kontaktprobleme ohne Reibung, mit Tresca-Reibung, mit Coanalytisch ulomb-Reibung, wechselseitige Mehrkörperkontaktprobleme, die sich alle nur numerisch näherungsweise

lösen lassen. Dazu bedienen wir uns der Variationsrechnung, die diese Probleme als Variationsungleichungen und Komplementaritätsprobleme formuliert, so dass sich hierauf Finite-Elemente-Methoden (FEM) zur Diskretisierung anwenden lassen. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Veranstaltung ist die effiziente numerische Behandlung dieser nichtlinearen Probleme. So werden neben der klassischen Penalty-Methode auch modernere Verfahren wie semiglatte Newton-Verfahren vorgestellt.

#### Literatur

- N. Kikuchi, J.T. Oden: Contact problems in elasticity: a study of variational inequalities and finite element methods, Vol. 8 of SIAM Studies in Applied Mathematics, Philadelphia, PA, 1988.
- P. Wriggers, Computational contact mechanics, John Wiley, 2002

#### Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Weiterführende wissenschaftliche Untersuchungen, angewandte Forschung sowie Vorbereitung auf eine einschlägige Masterarbeit.

#### Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
<b>Statistische Methoden für Ingenieure</b>	1807

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. rer. nat. Nina Ovcharova	Wahlpflicht	8

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	48	72	4

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18071	VL	Statische Methoden für Ingenieure	Pflicht	2
18072	UE	Statische Methoden für Ingenieure	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse, wie sie in Modulen zur "Höheren Mathematik" oder zur "Ingenieur-Mathematik" vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden kennen die grundlegenden Begriffsbildungen und statistischen Methoden, die in der Beschreibung naturwissenschaftlich-technischer Strukturen und Prozesse in den Ingenieurwissenschaften zum Einsatz kommen.

## Inhalt

Das Modul besteht aus dem Grundkurs Statistik und Vertiefungskurs Statistik.

## Inhalt des Grundkurses Statistik:

- Begriffsbildungen: Stochastische Experimente, Ereignisse, Wahrscheinlichkeit
- Diskrete und stetige Gleichverteilung als Beispiel von Wahrscheinlichkeitsmaßen
- Bedingte Wahrscheinlichkeit und stochastische Unabhängigkeit
- Anwendung auf Zuverlässigkeitsprobleme
- Diskrete Zufallsvariable; Erwartungswert und Varianz
- Wichtige diskrete Verteilungen: Gleich-, Binomial-, Poisson - Verteilung
- Stetige Zufallsvariable; Dichtefunktion, Erwartungswert und Varianz
- Wichtige stetige Verteilungen: Geometrische, Exponential-, Normal-Verteilung
- Anwendung auf zeitabhängige Zuverlässigkeit und Lebensdauer
- Statistische Schätzung: Punktschätzung, Intervallschätzung des Mittelwertes
- Vertrauensintervalle
- Überblick über Testverfahren; Prinzip der Maximum-Likelihood-Schätzung

- Aussage des Zentralen Grenzwertsatzes

#### Inhalt des Vertiefungskurses Statistik:

- Mehrdimensionale Zufallsvariable: Kovarianz, Korrelationskoeffizient, Summen von Zufallsvariablen
- Anwendung auf Zuverlässigkeit von Systemen, passive Redundanz
- Grenzwertsätze und Approximationsmethoden: Approximation durch die Normalverteilung
- Überblick über Zufallsgeneratoren.
- Weitere statistische Schätzmethoden: Intervallschätzung; Minimaler Umfang einer Stichprobe
- Statistische Testverfahren: Gammaverteilung und verwandte Verteilungen: Chi-Quadrat, Anpassungstests Chi-Quadrat, Parametertests, Tests auf Unabhängigkeit

#### Literatur

- Ruegg, A.: Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. Eine Einführung für Ingenieure. Oldenbourg Verlag, 1986.
- Krengel, U.: Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. 7. überarb. Aufl., Verlag Vieweg, 2003.
- Eipelt, B.; Hartung, J: Grundkurs Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. Oldenbourg Verlag, 2004.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Anwendung des erlangten Wissens in allen Modulen des Masterstudiums.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester. Es findet im Wintertrimester des 1. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Strömungen auf kleinen Skalen</b>	1808

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Christian Cierpka	Wahlpflicht	1

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	48	72	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18081	VL	Strömungen auf kleinen Skalen	Pflicht	2
18082	UE	Strömungen auf kleinen Skalen	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Grundkenntnisse aus der Physik sowie die Vorlesungen "Strömungsmechanik". Teilweise wird die Vorlesung im Rahmen von Gastvorträgen in Englisch abgehalten.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden sollen einen Einblick in komplexe Strömungsvorgänge in Natur und Technik bekommen, die im Rahmen der Strömungsmechanik und Aerodynamikvorlesungen nicht abgebildet werden können.

Dazu gehören die Auslegung und Anwendung mikrofluidischer Systeme in der Verfahrenstechnik, Biologie und Medizin, granulare Strömungen, Mehrphasenströmungen und Strömungen mit Wärme- und Stofftransport in der Verfahrenstechnik. Vorlesungsziel ist den Studierenden das Verständnis der Unterschiede zwischen mikroskopischer und makroskopischer Fluidynamik zu vermitteln. Sie sollen die zugrunde liegenden Phänomene kennen lernen und deren gezielte Nutzung für verschiedene Anwendungen ableiten können. Zudem sollen laseroptische Messtechniken zur Strömungscharakterisierung vorgestellt werden und deren Besonderheiten diskutiert werden.

Im Rahmen der Übung soll den Studierenden zum einen wissenschaftliches Arbeiten vermittelt werden. Dazu sollen sie zu verschiedenen Themen Literatur recherchieren, bewerten und ihre Ergebnisse im Rahmen von 30 minütigen Vorträgen darstellen. Ein gemeinsamer peer-review Prozess zu den Ergebnissen, soll den Studierenden helfen das Eigen- und Fremdbild zu bewerten und für das eigene Studium Arbeitsprozesse abzuleiten. Zusätzlich sollen sie Einblicke in die industrienahen Praxis durch Laborbesichtigungen und praktische Übungen erhalten.

Inhalt
<p>Folgende Inhalte sollen den Studierenden in der Lehrveranstaltung näher gebracht werden:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einführung in die Mikrofluidik (Anwendungen, Märkte, Beispiele), Fluideigenschaften</li><li>• Unterschiede zwischen mikroskopischer/makroskopischer Stoff- und Impulsaustausch anhand von Ähnlichkeitskennzahlen wie bspw. Reynoldszahl, Pecletzahl, Kapilarzahl, Knudsonzahl, etc.</li><li>• Gradienten in kleinen Volumina (Elektrokinetische Strömungen, Konzentrations- und Temperaturfelder)</li><li>• Auslegung und Herstellung von Mikrokanälen, Pumpen, Ventile, aktive und passive Mischer</li><li>• Granulate Strömungen</li><li>• Mehrphasenströmungen (Gas-Fluid) mit und ohne Wärme- und Stofftransport</li><li>• Optische Messmethoden für die Mikrofluidik (Mikroskopie, Abbildung von Teilchen, Particle Image Velocimetry, Particle Tracking Velocimetry)</li></ul>
Literatur
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fundamentals and Applications of Microfluidics, Nguyen, Werelea, Artech House, 2006</li><li>• Micro Process Engineering, Brand, Fedder, Hierold, Korvink, Tabata (Eds.), Wiley, 2006</li><li>• Theoretical Microfluids, Bruus, Oxford Master Series in Condensed Matter Physics, 2008.</li></ul>
Leistungsnachweis
Notenschein
Verwendbarkeit
<p>Die Inhalte des Moduls "Strömungen auf kleinen Skalen" vermitteln einen Überblick über die Anwendung und Auslegung mikrofluidischer Systeme. Die Besonderheiten der Strömungsmechanik bei sehr kleinen Abmessungen werden diskutiert und helfen auch makroskopische Phänomene besser einzuordnen. Erste Grundkenntnisse bei der Charakterisierung von Strömungen mit optischen Messmethoden sowie die wissenschaftliche Literaturarbeit und die Darstellung von Forschungsergebnissen werden vermittelt.</p>

### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester. Es beginnt jedes Studienjahr jeweils im Wintertrimester. Als Startzeitpunkt ist das Wintertrimester im 2. Studienjahr vorgesehen.

Modulname	Modulnummer
Variationsrechnung und Optimale Steuerung	3450

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. sc. math. habil. Joachim Gwinner	Wahlpflicht	

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
34501	VL	Variationsrechnung und Optimale Steuerung		5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

## Voraussetzungen laut Prüfungsordnung

Kenntnisse aus der Linearen Algebra, der Differential- und Integralrechnung für Funktionen mehrerer Veränderlicher

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse in Optimierung

## Qualifikationsziele

- Einführung in ein aktuelles Gebiet der angewandten Mathematik
- Wissenstransfer aus der mathematischen Forschung in die ingenieurwissenschaftliche Anwendung
- Fähigkeit zu selbständigem Studium der weiterführenden Fachliteratur
- Vorbereitung auf eine einschlägige Master-Arbeit

## Inhalt

- zum Einstieg Überblick über klassische und moderne Problemstellungen der Variationsrechnung
- eindimensionale Variationsaufgaben, Eulersche Differentialgleichung, Ecken- und Randbedingungen, hinreichende Bedingungen unter strukturellen Voraussetzungen wie Konvexität
- Variationsaufgaben mit Nebenbedingungen, Lagrangesche Multiplikatorenregel
- Einführung in die Optimale Steuerung, elementarer Lagrange-Ansatz, Hamilton-Funktion, quadratische Kontrollprobleme
- Variationsaufgaben mit Mehrfachintegralen, notwendige Bedingungen, Wechselbeziehungen mit elliptischen Randwertaufgaben als Grundlage für die Methode der Finiten Elemente
- Ausblick auf die optimale Steuerung partieller Differentialgleichungen

## Literatur

- H. Kielhöfer, Variationsrechnung, Vieweg + Teubner, 2010
- E. Klingbeil, Variationsrechnung, BI-Verlag, 1988

<ul style="list-style-type: none"><li>• P. Kosmol, Optimierung und Approximation, de Gruyter, 2010</li><li>• F. Tröltzsch Optimale Steuerung partieller Differentialgleichungen, Vieweg, 2005</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Am Ende der Veranstaltung wird eine mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer abgehalten.
<b>Verwendbarkeit</b>
Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in allen Studienschwerpunkten
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester. Es findet im Studienjahr jeweils im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Mathematische Modellierung</b>	5000

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. rer. nat. Sven-Joachim Kimmerle	Wahlpflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
50001	VL	Mathematische Modellierung	Pflicht	3
50002	UE	Mathematische Modellierung	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Interesse an der mathematischen Behandlung und Simulation von Anwendungen aus Ingenieur- und Naturwissenschaften. Benötigt werden Grundkenntnisse zu gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen und deren numerische Behandlung (wie sie zum Beispiel im Modul Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften (BAU/LRT) oder in Funktionsanalysis, in Differentialgleichungen und in Numerik (ME) erworben werden).

#### Qualifikationsziele

Die Studierenden lernen einfache mathematische Modelle aufzustellen und eine Dimensionsanalyse dieser durchzuführen.

Die Studierenden lernen Anfangs- und Randwertprobleme auf Wohlgestelltheit (Existenz, Eindeutigkeit, stetige Abhängigkeit von Daten) zu untersuchen.

Die Studierenden lernen Multiskalenprobleme mit asymptotischen Entwicklungen zu vereinfachen und numerische Lösungstechniken hierzu kennen.

Die Studierenden lernen verschiedene Ansätze für die Behandlung von Problemen mit freien Rändern kennen.

#### Inhalt

Eine Vielzahl von aktuellen Problemstellungen beinhalten Phänomene auf mehreren verschiedenen großen Skalen. Manchmal ist auch die konkrete Form der Differentialgleichung oder der Randbedingung nicht klar und hier muss ein passender Ansatz in der Modellierung gefunden werden, der Grundprinzipien der Physik wie zum Beispiel die Erhaltung bzw. Nicht-Zunahme von Energie und die Erhaltung bzw. Nicht-Abnahme der Entropie in einem entsprechenden System garantiert.

<p>Je nach Interesse der Studierenden werden die Modellierung von Wasserstoff-Brennstoffzellen, Phasenübergänge, Prozesse im Bereich der Kontinuumsmechanik/Elastizitätstheorie sowie Strömungen in porösen Medien als Schwerpunkt betrachtet.</p> <p>Die Modellierung und numerische Simulation dieser Art komplexer Probleme erfordert nicht nur Grundkenntnisse in den jeweiligen Ingenieur- und Naturwissenschaften, sondern auch geeignete mathematische Methoden sowohl in Analysis als auch in Numerik. Insbesondere Entdimensionalisierungstechniken, die Behandlung freier Ränder und mathematische Homogenisierungsmethoden werden behandelt. An numerischen Methoden werden dazu finite Elemente und finite Volumen verwendet. Als Ausblick wird die Optimalsteuerung bzw. Formoptimierung von gekoppelten Systemen betrachtet.</p>
<b>Literatur</b>
C. Eck, H. Garcke, P. Knabner: Mathematische Modellierung, Springer, Berlin/Heidelberg, 2008
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Teilnahmeschein für die häusliche Ausarbeitung mit Referat und für aktive Teilnahme.</p> <p>Mündliche Prüfung von 30 Minuten Dauer.</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
Vorbereitung auf Projekt- und Masterarbeit und weitergehende angewandte Forschung.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert 1 Trimester.</p> <p>Das Modul beginnt jeweils im Frühjahrstrimester.</p> <p>Das Modul wird vorerst nur im FT 2017 und im FT 2018 angeboten.</p>
<b>Sonstige Bemerkungen</b>
Das Modul ist für Studierende der Master-Studiengänge BAU, LRT und ME geeignet.

Modulname	Modulnummer
Masterarbeit LRT	1096

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10961	VÜ	Masterarbeit	Pflicht	0
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>0</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Alle Grundlagen- und Fachmodule des Master-Studienganges Luft- und Raumfahrttechnik, die für die Bearbeitung der jeweiligen Problemstellung erforderlich sind. Das Modul Projekt muss vor Beginn der Masterarbeit abgeschlossen sein.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden sind in der Lage, abgegrenzte Problemstellung aus einem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik weitgehend selbstständig zu analysieren und zu bearbeiten. Sie erhalten Einblick in ein aktuelles Forschungsgebiet und machen in diesem vertiefende praktische Erfahrungen. Sie sind in der Lage, den Sachverhalt klar darzustellen und einen Lösungsweg aufzuzeigen.

## Inhalt

Die Masterarbeit umfasst das selbstständige Bearbeiten einer umfangreicheren Problemstellung aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik. Die Arbeit kann theoretischer, experimenteller oder konstruktiver Natur sein; sie umfasst neben der Bearbeitung der Aufgabenstellung auch die Anfertigung einer schriftlichen Ausarbeitung.

## Leistungsnachweis

Die Arbeit ist im Rahmen eines Kolloquiums zu präsentieren. Es werden sowohl die Vorgehensweise während der Bearbeitung wie auch die schriftliche Ausarbeitung und die Präsentation mit einem Notenschein bewertet.  
Das Modul dauert fünf Monate. Es kann frühestens zum Anfang des Wintertrimesters des zweiten Studienjahres begonnen werden. Spätester Beginn ist der Anfang des Frühjahrstrimesters des zweiten Studienjahres.

<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul Masterarbeit stellt den Abschluss des Master-Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik dar.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 2 Trimester.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Antriebstechnik	1178

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Niehuis	Wahlpflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11781	P	Apparatives Praktikum: Antriebstechnik	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Modulen "Luftfahrtantriebe" und "Antriebskomponenten" vermittelt werden.

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden bekommen Einblick in die in den Versuchen eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.
- Die Studierenden erlernen die praktische Durchführung von Versuchen mit Turbokomponenten und Triebwerken und führen einfache Versuchsauswertungen selbständig durch.
- Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen im Komponenten- und Triebwerksversuch kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen und bewerten.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum "Antriebstechnik" praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf den Aufbau und die Durchführung von Versuchen mit Turbokomponenten und Strahltriebwerken. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden werden mit Mess- und Versuchstechniken vertraut gemacht, mit denen das Leistungsverhalten von Turbokomponenten und Strahltriebwerken gemessen und bewertet werden kann. Hierzu gehört die Druck- und Temperaturmesstechnik, die Messung von Leistung, Schub und Massenstrom.
- Bei den Komponentenversuchen mit einem Radialverdichter und einer Radialturbine sowie einem realen Strahltriebwerk werden Grundlagen dieser

<p>Turbomaschinen und Kennfelddarstellungen der Module "Luftfahrtantriebe" und "Antriebskomponenten" vermittelt und experimentell vertieft. Dies betrifft insbesondere das Betriebsverhalten sowie die Betriebsbereichsgrenzen.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Studierenden lernen klassische und moderne Einrichtungen zur experimentellen Antriebstechnik kennen. Durch den Vergleich von Theorie und Experiment lernen sie, den Anwendungsbereich und die zu erwartenden Ergebnisse besser einzuschätzen.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Verwendbarkeit</b>
Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse. Verwendbar für Auswahl und Projektierung von Antriebskomponenten für unterschiedliche Anwendungsbereiche, für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Flugantriebe und Turbomaschinen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Autonome Systeme</b>	1179

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche	Wahlpflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11791	P	Apparatives Praktikum: Autonome Systeme	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
<p>Notwendig sind gute Kenntnisse in Digitaler Regelungstechnik und Modernen Methoden der Regelungstechnik (vor allem Zustandsraumdarstellung und Zustandsregler). Vorausgesetzt werden ferner Kenntnisse, wie sie in den Modulen "Autonome Systeme" und "Filter- und Schätzverfahren" vermittelt werden.</p>

Qualifikationsziele
<p>Die Studenten haben</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• einen geschlossenen Regelkreis implementiert,</li> <li>• das Korrespondenzproblem in der Bildverarbeitung erkannt,</li> <li>• Erfahrung bei der Anwendung eines Kalman Filters gesammelt,</li> <li>• Erfahrung bei der Auslegung von Regelparametern gesammelt</li> <li>• Erfahrung in der C++-Programmierung gesammelt,</li> <li>• eine geschlossene Projektarbeit durchgeführt, in der Einzelaufgaben erfolgreich zusammenspielen.</li> </ul>

Inhalt
<p>Die Studierenden realisieren im Modul Praktikum Autonome Systeme einen kompletten, geschlossenen Regelkreis durch die visuelle Wahrnehmung der Umgebung und die Ableitung von Stellgrößen für Geschwindigkeit und Lenkung eines 1:5 Modellfahrzeuges, welche durch einen P, PI- oder PID-Regler umgesetzt werden sollen. Am Ende des Praktikums soll das Modellfahrzeug in der Lage sein, eine bestimmte Aufgabe vollautonom zu lösen. Ein Beispiel für eine solche Aufgabe wäre das Abfahren einer gut markierten Spur.</p>

Das Praktikum ist als Gruppen-Projektarbeit über sechs Termine ausgelegt. Die gestellte Autonomieaufgabe soll mittels des am Institut verwendeten 4D-Ansatz gelöst werden. Dieser besteht im wesentlichen aus einer rekursiven Schätzung von Zustandsparametern durch ein sequentielles, erweitertes Kalman Filter (EKF), welcher auch verwendet wird, die erwarteten Messungen zu präzisieren. Daraus ergibt sich ein sequentieller Programmablauf aus Messung, Filterinnovation, Zustandsprädiktion und Fahrzeugregelung.

Im Folgenden werden nun die einzelnen Inhalte der sechs Termine erläutert:

**Termin 1: Kennenlernen des Software-Rahmens (API), Homogene Koordinaten**  
Der Software-Rahmen ist eng gesteckt, um in der kurzen Zeit überhaupt ein komplettes Projekt abschließen zu können. Die Studenten haben die Aufgabe, nur die wesentlichen Teile des Filter-Prozesses auszufüllen. Ziel des ersten Termins ist es, den Programmablauf des Projektes zu verstehen, ohne dass eine konkrete Implementierung der Einzelaufgaben vorliegt. Zusätzlich werden durch homogene Koordinaten die Abbildungs-Geometrien der Kamera erläutert und erste Schritte in der C++-Programmierung unternommen.

**Termin 2: Aufsetzen von Messfenstern**  
Als erster Schritt in der Bildverarbeitung werden Bildkanten-Messfenster auf einem synthetisch generierten Bildstrom aufgesetzt, z.B. das Abfahren einer gekrümmten Fahrspur, erzeugt durch 3D-Computergrafik. Die dabei auftretenden Probleme, ein stabiles Tracking durchzuführen, sollen den Studenten bewusst werden. Ein Problem dabei besteht im sogenannten "Korrespondenzproblem", nämlich der Zuordnung gleicher Bildmerkmale unterschiedlicher Kamerabilder (räumlich oder zeitlich getrennt). Es gilt als eines der Hauptprobleme in der Bildverarbeitung.

**Termin 3: Implementieren des 4D-Ansatzes**  
Termin 3 zeigt die Notwendigkeit von Modellannahmen zur Handhabung von Problemen wie dem Korrespondenzproblem. Hierzu wird der 4D-Ansatz verwendet. Beim Beispiel des Spurhaltens wird ein geometrisches Modell der Fahrspur verwendet (Klothoidenmodell), um geeignete Messmodelle von Bildkoordinaten zu Zustandsparametern (z.B. Fahrzeugablage) aufzustellen. Für die Prädiktion wird ein dynamisches Modell der Eigenbewegung verwendet, z.B. das Fahrzeug-Einspurmodell. Damit kann nun ein EKF formuliert werden, welcher eine Schätzung des augenblicklichen Zustandes liefert, sowie eine Prädiktion, um im darauf folgenden Bild die Messungen geeignet parametrieren zu können.

**Termin 4: Auslegen eines P/PI/PID-Reglers**  
Ausgehend vom geschätzten Zustand des EKF, sollen die Studenten in diesem Termin Regler für die Fahrzeugführung entwerfen. Die Art des Reglers liegt im Ermessen der

Studenten. Hauptsächlich soll die Querführung geregelt werden. Zu lösende Probleme sind: Fahrzeugidentifizierung als Regelstrecke, Einfluss von Abtastzeiten, Einfluss von unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Ermittlung von Reglerparametern anhand von bekannten Verfahren.

#### Termin 5: Systemintegration

Dieser Termin hat die Herausforderung, alle Teilaufgaben zu einem funktionierenden Paket zusammenzuführen und zu optimieren.

#### Termin 6: Wettkampf

Im letzten Termin soll ein kleiner Wettkampf stattfinden. Das Abschneiden in diesem Wettkampf zählt dabei weniger zur Benotung als die gesamte Vorgehensweise während des Praktikums.

Zum Abschluss des Praktikums wird eine Ausarbeitung im Umfang von etwa 10 Seiten gefordert, in welcher die Studierenden ihre Vorgehensweise kurz beschreiben (ca. 2 Seiten/Termin).

#### Leistungsnachweis

Benoteter Schein

#### Verwendbarkeit

Autonome, kognitive Systeme werden zukünftig immer stärker in unser Leben vordringen. Fahr- und Flugzeuge werden nicht nur im militärischen Bereich um Assistenzsysteme erweitert, die einen zunehmend autonomen Betrieb ermöglichen. Roboter, die ihre Umgebung wahrnehmen und sich in ihr situationsgerecht verhalten, werden nicht nur Soldaten zur Hand gehen, sondern auch in Fabriken sowie im häuslichen Umfeld schwere, monotone, gefährliche oder ermüdende Aufgaben übernehmen.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Flugführungssysteme</b>	1180

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Wahlpflicht	4

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11801	P	Apparatives Praktikum: Flugführungssysteme	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse in Flugführung und Navigation, Grundkenntnisse in Flugzeugautomation

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden verstehen die Anforderungen an Piloten am Arbeitsplatz Cockpit in Grundzügen.
- Die Studierenden verstehen die Bedienung wesentlicher Flugführungssysteme, wie primäre Flugsteuerung, Autopilot, Funknavigationsempfänger in Grundzügen.
- Die Studierenden erfahren in der Praxis mögliche Ursachen für erhöhte Beanspruchung des Piloten im Cockpit und können diese erklären und quantitativ im Simulator erfassen.
- Die Studierenden kennen exemplarisch Techniken zur Beurteilung von Mensch-Maschine-Schnittstellen im Cockpit, wie z.B. Beanspruchungsmessung, Blickbewegungsmessung.
- Die Studierenden kennen die Grundzüge von experimentellen Methoden im Zusammenhang mit Mensch-Maschine-Systemen.
- Die Studierenden sind sensibilisiert für Forschungsansätze bei der Gestaltung von Operateurarbeitsplätzen in der Luftfahrt.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum „Flugführungssysteme“ praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf Auslegung, Beurteilung, Integration, Betrieb und Bedienung von Flugführungssystemen. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden werden mit klassischen Flugführungssystemen im Flugsimulator vertraut gemacht. Hierzu zählen v.a. Anzeigeelemente wie die primäre Flugführungsanzeige und das Navigationsdisplay einschließlich HSI („Horizontal

<p>Situation Indicator“), konventionelle Bedienelemente einschließlich FCU („Flight Control Unit“), Autopilotenfunktionen und Einrichtungen zur Funknavigation.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Studierenden lernen in Grundzügen die Durchführung eines Fluges gemäß IFR („Instrument Flight Rules“) unter Einsatz von klassischen Funknavigationshilfen (z.B. VOR, ILS). Dazu führen die Studierenden unter Anleitung selbstständig eine entsprechende Flugplanung durch und erfliegen dann diese Mission im Flugsimulator.</li><li>• Die Studierenden lernen Techniken zur Beurteilung von Systemen zur Cockpitautomation in der Praxis kennen und wenden diese im Rahmen von Flügen im Flugsimulator an. Hierzu zählen z.B. die Bestimmung der Beanspruchung des Piloten mittels Verfahren wie NASA-TLX („Task Load Index“) oder auch die Messung der Blickbewegungen des Piloten.</li><li>• Die Studierenden lernen moderne Konzepte zur Pilotenunterstützung in der praktischen Anwendung kennen. Hierzu zählen moderne Flugführungsanzeigen, wie 3D-Flugführungsanzeigen, Kartendisplays, wissensbasierte Assistenzsysteme, Spracherkennung, automatische Flugplanung.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Fluidodynamik</b>	1181

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian Kähler	Wahlpflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11811	P	Apparatives Praktikum: Fluidodynamik	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundkenntnisse aus Physik und Messtechnik sowie die Vorlesung "Strömungsmechanik".

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind mit dem Aufbau und der Funktionsweise strömungs- und aerodynamischer Versuchsanlagen vertraut.
- Die Studierenden kennen die Funktionsweise einfacher Messverfahren der Fluidodynamik und sind vertraut mit der Arbeitsweise zur Untersuchung strömungsmechanischer Phänomene.
- Die Studierenden wissen die Grenzen der Messtechniken zu beurteilen sowie Messfehler und Einflussgrößen zu berücksichtigen.
- Die Studierenden kennen repräsentative Techniken der Datenerfassung, der Dokumentation, der Datenreduktion sowie der graphischen Präsentation, wie sie wesentliche Teile der Labortätigkeit sind.
- Die Studierenden erhalten eine anschauliche Vorstellung von vielen strömungsmechanischen Phänomenen (Transition, Ablösung, Grenzschichten) und erlernen, den Gültigkeitsbereich der Theorien aus der Strömungsmechanik zu erfassen.

#### Inhalt

Das Modul "Apparatives Praktikum Fluidodynamik" macht den Teilnehmern eine Reihe von Phänomenen der Strömungsmechanik erlebbar und die Anwendung typischer Messverfahren erfahrbar. Insgesamt etwa 8 Versuche aus der klassischen Windkanalmesstechnik sowie der berührungsfreien Laser-Messmethoden werden in kleinen Gruppen durchgeführt (die Liste kann durch neuere Entwicklungen variieren).

Die Themen lauten im Einzelnen:

<ul style="list-style-type: none"><li>• Windkanäle und Kanalqualifizierung</li><li>• Hitzdrahtmessung</li><li>• Zylinderumströmung</li><li>• Auftriebs- und Widerstandsbestimmung an einem Profil</li><li>• Versuche am Deltaflügel</li><li>• Schatten- und Schlierenmeßtechnik</li><li>• Particle Image Velocimetry</li><li>• Infrarotthermografie</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eckelmann H.: Einführung in die Strömungsmesstechnik. Teubner, 1997.</li><li>• Tropea C.; Yarin, A.L.; Foss, J.F.: Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Springer Verlag, 2007.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Verwendbarkeit</b>
Das Praktikum rundet die vorangegangene strömungsmechanische Ausbildung insofern ab, als es die Brücke zur praktischen Anwendung der gelernten Theorien schlägt. Die Studierenden können dann diesen Brückenschlag in anderen Situationen oder in anderen Fächern selbst besser bewerkstelligen, da sie anhand von Beispielen den Zusammenhang von Theorie und Experiment erfahren.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Leichtbau	1182

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Helmut Rapp	Wahlpflicht	4

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11821	P	Apparatives Praktikum: Leichtbau	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse, wie sie in den Modulen „Leichtbau“, „Leichtbaustrukturen“ und „Strukturodynamik“ (Berechnung dünnwandiger Strukturen, Kräfteinleitung in und Stabilität von Leichtbaustrukturen, Modalanalyse) vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden können Strukturversuche selbstständig definieren, aufbauen und durchführen.
- Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der wesentlichen im Strukturversuch eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.
- Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen im Strukturversuch kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Diskrepanzen zwischen Theorie und Experiment umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum „Leichtbau“ praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf den Aufbau und die Durchführung von Strukturversuchen. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden werden mit klassischen Messtechniken bei Strukturversuchen vertraut gemacht, dazu gehören insbesondere die Verwendung von Kraft- und Wegsensoren sowie der Einsatz von Dehnungsmessstreifen.
- Innerhalb der Strukturversuche werden ausgewählte Inhalte aus den Modulen „Leichtbaustrukturen“ und „Strukturodynamik“ experimentell vertieft, dies betrifft

insbesondere die Bereiche „Stabilität von Tragwerken“, „Krafteinleitung in dünnwandige Strukturen“ und „Modalanalyse“.

- Die Studierenden lernen klassische und moderne Einrichtungen zur Experimentellen Strukturmechanik kennen. Durch den Vergleich von Theorie und Experiment lernen sie, den Anwendungsbereich der theoretischen Verfahren und die zu erwartenden Ergebnisse besser zu beurteilen.

Leistungsnachweis

Benoteter Schein

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Luftfahrttechnik	1183

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11831	P	Apparatives Praktikum: Luftfahrttechnik	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

MA-Modul "Flugsystemtechnik I &amp; II"

## Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können Versuche zur Luftfahrtsystemtechnik selbstständig aufbauen, durchführen und auswerten.
2. Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der unterschiedlichen in den Versuchen eingesetzten Komponenten und Messgeräte.
3. Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen in den Versuchen kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.
4. Die Studierenden lernen grundlegenden Systeme des Flugzeuges sowie Redundanzmaßnahmen kennen.

## Inhalt

Versuch 1: **Sensorstabilisierung für Luftfahrzeuge:**

Die Studierenden führen Versuche zur Lagestabilisierung einer Sensorplattform auf Luftfahrzeugen durch. Beim Kurven-, Steig- und Sinkflug muss die Eigenbewegungen des Fluggeräts mittels einer kardanischen Aufhängung kompensiert werden. Zur Lage und Positionsbestimmung wird zunächst ein Inertialsensor in Matlab/Simulink eingebunden und ausgewertet. Anschließend folgt eine Evaluierung geeigneter elektrischer Aktuatoren (Servos) und deren Anbindung an einen Missionsrechner. Im zweiten Teil des Versuchs soll abschließend eine schnelle Folgeregelung zur Stabilisierung von Nickstörungen implementiert und evaluiert werden.

Versuch 2: **Drehmomenten- & Schubmessung:**

Die Studierenden führen Versuche an einem Prüfstand zur Drehmomenten- und Schubmessung eines Propeller-Elektroantriebs durch. Ausgehend von den Eingangsgrößen (Strom, Spannung) kann anschließend der Wirkungsgrad des Antriebstrangs bestimmt werden. Im nächsten Schritt wird die Auswirkung des Wuchtens der Luftschraube sowie Zug- Druckkonfigurationen auf den Wirkungsgrad untersucht. Die Ergebnisse werden abschließend mit verschiedenen Simulationsprogrammen verglichen und bewertet.

### Versuch 3: **A320 Simulator:**

Die Studierenden vertiefen das Wissen zu den grundlegenden Systeme des Flugzeuges am A320 Flugsimulator, verstehen Redundanzmaßnahmen, die Funktionalitäten trotz Ausfalls einzelner Bauteile (evtl. eingeschränkt) aufrechterhalten und wenden an eingespielten Ausfällen mit Hilfe von „Emergency Procedures“ Checklisten praktisch an. Die Studierenden verstehen die Grundlagen der Navigation in der Fliegerei, die sie praktisch im Flugsimulator anwenden.

#### Leistungsnachweis

Benoteter Schein

#### Verwendbarkeit

Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Raumfahrttechnik</b>	1184

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Roger Förstner	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11841	P	Apparatives Praktikum: Raumfahrttechnik	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Grundlegende physikalische Kenntnisse auf dem Gebiet der Mechanik, der Thermodynamik und Elektrizitätslehre sowie in der Raumfahrtssystemtechnik.

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden können die ausgewählten Versuche selbstständig definieren, aufbauen und durchführen.
- Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der unterschiedlichen in den Versuchen eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.
- Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen in den Versuchen kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum "Raumfahrttechnik" praktische Kenntnisse und Fertigkeiten zu raumfahrtspezifischen Experimentiermöglichkeiten, Qualifikationstests und Simulationstechniken. Hierzu wird im Einzelnen schwerpunktmäßig aus den folgenden Inhalten ausgewählt:

- Simulationen und Versuche zur Steuerung und Regelung von Raumfahrzeugen.
- Simulation der Weltraumumgebung und Testverfahren dazu sowie der Veranschaulichung und dem Verständnis dienende Grundlagenversuche und Analysen.
- Grundlegende Versuche zur extremen Strukturbelastung durch Triebwerksschub.
- Simulation des Satellitenbetriebs mit praktischen Übungen dazu.

<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Verwendbarkeit</b>
Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Regelungstechnik	1185

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. (habil) Ferdinand Svaricek	Pflicht	1

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11851	P	Apparatives Praktikum: Regelungstechnik	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Modulen "Regelungstechnik" und "Moderne Methoden der Regelungstechnik" vermittelt werden.

## Qualifikationsziele

- Die Studierenden können gegebene Regelungsaufgaben mit Hilfe von Matlab/Simulink und den entsprechenden Toolboxen lösen und die gefundenen Regelgesetze experimentell validieren.
- Die Studierenden verstehen die Methode des modellbasierten Reglerentwurfs und sind in der Lage die einzelnen notwendigen Teilaufgaben (experimentelle/theoretische Modellbildung, Systemanalyse, Reglerentwurf, Reglererprobung) selbständig durchzuführen.
- Die Studierenden lernen den Einfluß von Faktoren wie nichtlineares Verhalten der Regelstrecke, Stellgrößenbeschränkungen, Meßfehler und Totzeiten in den Versuchen kennen und können den Einfluß dieser Effekte auf das zu erwartende Ergebnis abschätzen.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

## Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum "Regelungstechnik" praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf Modellierung, Analyse, Auslegung, Realisierung und Betrieb von technischen Regelungssystemen. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden lösen selbstständig vorgegebene Regelungsaufgaben und erproben und bewerten die entworfenen Regler in der Simulation und an den Versuchsanlagen.

- Innerhalb der Versuche werden ausgewählte Inhalte aus den Modulen "Regelungstechnik" und "Moderne Methoden der Regelungstechnik" experimentell vertieft. Dies betrifft insbesondere die Bereiche "Modellbildung", "Systemanalyse", "Reglerentwurf" und die "Reglererprobung".
- Die Studierenden lernen moderne Verfahren zur Identifikation des dynamischen Verhaltens von technischen Systemen und zum rechnergestützten Entwurf von linearen und nichtlinearen Reglern kennen.
- Durch den Vergleich von Theorie, Simulation und Experiment lernen sie, den Anwendungsbereich der verschiedenen Verfahren und die zu erwartenden Ergebnisse besser einzuschätzen.

**Leistungsnachweis**

Benoteter Schein

**Verwendbarkeit**

Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Satellitennavigation, Erdbbeobachtung</b>	1186

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Bernd Eissfeller	Pflicht	1

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11861	P	Erdbbeobachtung	Pflicht	2
11862	P	Satellitennavigation	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse aus der Mathematik, der Experimentalphysik und der Messtechnik.

## Qualifikationsziele

Die Studierenden müssen sich im Rahmen dieses Praktikums selbständig mit bestimmten Aufgaben auseinandersetzen und erwerben damit vertiefende Detailkenntnisse aus den angeschnittenen Themenbereichen. Die Praktika sind in den meisten Fällen sorgfältig zu planen, um eine ordnungsgemäße Durchführung gewährleisten zu können. Es schließt sich eine intensive Aufbereitung bzw.

Auswertung der Messungen bzw. des zur Verfügung gestellten Datenmaterials an. Neben dem Erwerb vertiefender fachlicher Qualifikationen und Kenntnisse ist die selbständige Organisation zur fachgerechten Problemlösung hervorzuheben.

## Inhalt

## SATELLITENNAVIGATION (Positionsbestimmung mit GNSS und INS)

- Standard-Positionierung: Die Studierenden führen in Versuchen Einzelstationspositionierungen mit Pseudo-Streckenmessungen zu GPS und/ oder GALILEO Satelliten (je nach Verfügbarkeit) durch. Die Vorbereitung und Durchführung dieser experimentellen GNSS Messungen erfolgt auf dem Gelände der UniBwM. Die Studierenden führen eine selbständige Auswertung des Datenmaterials durch.
- Differentielle GNSS-Positionierung: Mit dem Ziel einer auf den Zentimeter genauen Positionsbestimmung planen die Studierenden einen geeigneten Messaufbau, führen die zugehörigen differentiellen Messungen unter Nutzung mindestens einer Referenzstation durch und werten ihre Messdaten mit einer geeigneten (zur Verfügung gestellten) wissenschaftlichen Auswertesoftware

aus. Die Planung schließt eine Erfassung möglicher Sichthindernisse ("Elevationsmaske") ein.

- Inertiale Navigation: Das komplementäre Fehlverhalten von inertialen Sensoren im Vergleich zur Satellitennavigation erfahren die Studierenden in einem experimentellen Aufbau unter Nutzung von low-cost sowie präzisen inertialen Messeinheiten. Dabei erfolgt eine selbständige Aufzeichnung und Prüfung des Driftverhaltens, der Temperatursensitivität, eine ad-hoc Bestimmung der Kreisel-Biase und eine approximative Durchführung der Plattformausrichtung ("initial alignment, gyro compassing"). Die kombinierte Nutzung von GPS und INS (Sensor-Fusion) mit Hilfe eines integrierten Navigationssystems schließt diesen Praktikumsabschnitt ab.

### ERDBEOBACHTUNG

- Fernerkundungsexperiment: Die Studierenden planen eine Gebiets- oder Objektaufnahme, führen eine Bildakquisition durch (vorbehaltlich technischer und finanzieller Realisierbarkeit; alternativ werden entsprechende Bilddaten bereitgestellt) und werten die gewonnenen Bilddaten aus. In diesem Zusammenhang erfolgt zunächst die Herstellung eines Zusammenhangs zwischen Bild- und Weltkoordinaten (Geo-Referenzierung). Anschließend werden die Bilddaten in geeigneter Weise gefiltert und für die Merkmalsextraktion vorbereitet. Die Vektorisierung eines Gebietsausschnittes rundet diesen Praktikumsabschnitt ab.
- Radar- und Lasermethoden: Die Studierenden führen in diesem Abschnitt praktische Auswertungen von SAR-Bildern durch. Dies umfasst die Berechnung von Leistungsbudgets mit Hilfe der Radargleichung, die Analyse von SAR-Bildern hoher Auflösung und Bestimmung von SAR-spezifischen Effekten, das Prozessieren von SAR-Rohdaten und die Optimierung der Bildqualität, die Erstellung von Höhenmodellen und Bestimmung der Objekthöhen, die Unterdrückung des Speckle-Rauschens in SAR-Bildern und Extraktion von Kanten zur Verfolgung von Konturen, die genaue Koregistrierung von SAR-Bildern mit multisensoriellem Bildmaterial sowie die Erstellung eines Katalogs von charakteristischen Signaturen für unterschiedliche Zielklassen, z. B. Flughäfen, Seehäfen, Verkehrswege, Brücken, etc..

Leistungsnachweis

Benoteter Schein

Verwendbarkeit

Wesentliche Ergänzung zu den gehörten Vorlesungen in Satellitennavigation, Erdbbeobachtung und Telekommunikation, die zu vertieften Kenntnissen in den Fachgebieten führt. Das Praktikum ist auf die Vorlesungsinhalten abgestimmt und behandelt insbes. Verfahren der Satellitennavigation, der allgemeinen Navigation (Inertialnavigation u.a.) und der Erdbbeobachtung/Fernerkundung. Die erarbeiteten

Kenntnisse sind gleichermaßen für zivile und militärische Anwendungen verwendbar
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Thermodynamik</b>	1187

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11871	P	Apparatives Praktikum: Thermodynamik	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Modulen "Aerothermodynamik" und "Wärme- und Stofftransport" vermittelt werden.

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden erwerben die Kompetenz, Messdaten z.B. zur Ermittlung der Temperatur qualitativ wie auch quantitativ zu bewerten.
- Die Studierenden lernen die diversen Fehlerquellen bei der Messdatenerfassung kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.
- Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum "Thermodynamik" praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf den Aufbau und die Durchführung von Messungen an thermodynamischen Systemen. Hierzu zählen beispielsweise die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden erhalten eine grundlegende Einführung in die Thermometrie, dazu gehört insbesondere die Verwendung von Thermoelementen und Widerstandsthermometern.
- Die Studierenden werden mit den Grundlagen der Thermographie bekannt gemacht unter Verwendung einer Infrarotkamera.
- Die Studierenden erwerben umfassende Kenntnisse in der Erfassung von Geschwindigkeits- und Temperaturfluktuationen hoch aufgelöst mittels der Hitzdrahtanemometrie.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Je nach Option lernen die Studierenden in exemplarischer Weise komplexe Messsysteme kennen, wie die Erfassung der spektralen Infrarotstrahlung von Oberflächen, die Schlierenmesstechnik zur Abbildung von Dichteschwankungen, die Laser-Raman-Spektroskopie als berührungslose Temperaturmesstechnik.</li><li>• Das erworbene Wissen wird vertieft anhand weiterer (aero)thermodynamischer Apparaturen, die sich auf Fragestellungen wie die Energieumwandlung und dem Energietransport in Hochgeschwindigkeitsströmungen beziehen.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Verwendbarkeit</b>
Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
Projekt	1188

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
	Pflicht	9

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11881	VÜ	Projektarbeit	Pflicht	0
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>11</b>

## 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

Das Modul Projekt ist erforderlich für den Abschluss des Master-Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik. Der Abschluss der Projektarbeit ist Voraussetzung für den Beginn der Masterarbeit.

Weiterhin kann das Modul Projekt als Wahlpflichtmodul für alle Vertiefungsrichtungen des Studiengangs Mathematical Engineering M.Sc. eingebracht werden.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 2 Trimester, es beginnt im Frühjahrstrimester des 1. Master-Studienjahres.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Forschungsmethoden</b>	1804

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch Prof. Dr.-Ing. Kristin Paetzold	Pflicht	4

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18041	P	Apparatives Praktikum: Forschungsmethoden	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Modul Forschungsmethoden
Qualifikationsziele
<p>Die Studierenden können Studienpläne erstellen und sind vertraut mit den wichtigsten praktischen Konsequenzen der Versuchsplanung und -leitung.</p> <p>Die Studierenden sind vertraut mit gebräuchlichen computergestützten Verfahren der Datenanalyse.</p> <p>Die Studierenden können ihre Ergebnisse verständlich präsentieren und publizierbare Versuchsberichte erstellen.</p>
Inhalt
<p>Die Studierenden erlernen im Praktikum „Forschungsmethoden“ Kenntnisse zum praktischen Vorgehen bei der Formulierung und Überprüfung wissenschaftlicher Fragestellungen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erstellung eines experimentellen Versuchsplans</li> <li>• Durchführung eines eigenen Versuchs</li> <li>• Aufbereitung und computergestützte statistische Datenanalyse der erhobenen Daten (z.B. mit SPSS, der MatLab Statistics Toolbox, Roder ATLAS-TI)</li> <li>• Interpretation der Daten</li> <li>• Wissenschaftliches Schreiben: Erstellung eines Ergebnisberichts</li> <li>• Präsentation der Forschungsergebnisse</li> </ul>

Die Studierenden können zwischen verschiedenen Forschungsprojekten wählen, in denen unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen.
<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein basierend auf Praktikumsarbeit in Form von schriftlichen Ausarbeitungen und einer Präsentation.
<b>Verwendbarkeit</b>
Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit. Praxiserfahrung bei der Durchführung, Auswertung und Berichterstellung von Nutzerstudien. Fähigkeit zur Bewertung publizierter Forschungsergebnisse.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester des 2. Master-Studienjahres statt.

Modulname	Modulnummer
<b>studium plus 3 - Seminar und Training</b>	1008

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
	Pflicht	0

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
	S+-Sem	Studium plus Seminare Herbsttrimester 2016	Wahlpflicht	3
	T	studium plus Training Herbsttrimester 2016	Wahlpflicht	3
	T	Studium plus Training Wintertrimester 2017	Wahlpflicht	3
	S+-Sem	Studium plus Seminare Wintertrimester 2017	Wahlpflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

## Qualifikationsziele

Qualifikationsziele studium plus-Seminare:

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.

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.

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.

Durch die Steigerung der Partizipationsfähigkeit wird die mündige Teilhabe an sozialen, kulturellen und politischen Prozessen der modernen Gesellschaft gefördert.

Qualifikationsziele studium plus-Trainings:

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.

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.

#### Inhalt

Kurzbeschreibung:

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

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.

Leistungsnachweis 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 1 Trimester.

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

Als Startzeitpunkt ist das Frühjahrstrimester im 1. Studienjahr vorgesehen.

