

# **Modulhandbuch des Studiengangs**

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

**an der  
Universität der Bundeswehr München**

**(Version 2022)**

Stand: 09. Dezember 2021

## **Schwerpunkt 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 Studiengangs**

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 Forschungsnahe 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 weiterverarbeitet 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 einarbeiten 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.



3	Herbsttrimester	Studium plus	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2				
		Wahlmodul 1																							
		Wahlmodul 2																							
		Methoden der Produktentwicklung	5	wp	5	p	5																		
		Flugsystemtechnik I	5	p	5				p	5	p	5							wp	5					
		Moderne Strukturwerkstoffe	5			p	5						wp	5											
		Betriebsfestigkeit	5			wp	5																		
		Strukturdynamik	5			p	5						wp	5								p	5		
		Antriebskomponenten	5								p	5													
		Computational Fluid Dynamics I	5				p	5			wp	5										p	5		
		Wärme- & Stofftransport	5				p	5			p	5											p	5	
		Chemische Thermodynamik	5				p	5																	
		Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	5							p	5								wp	5		p	5		
		<del>Regelungstechnisches Rechnerpraktikum-</del>	5																wp	5		p	5		
		<del>Moderne Methoden der Regelungstechnik-</del>	5								wp	5							wp	5		p	5	wp	5
		Optimale Steuerung und Regelung	5								wp	5							wp	5		p	5	wp	5
		Filter- und Schätzverfahren	5											wp	5				p	5		wp	5		
		SatNav (DGNSS; integrierte Navigation)	4							wp	4			p	4				p	4					
		Weltraumnutzung (Wetter & Schwere)	3																				p	3	
		Sensortechnik	5											wp	5							p	5		
Punktezahl 3. Trimester Pflicht		7		17		17		12		17		6		9		12		12		17					
Punktezahl 3. Trimester Wahlpflicht		5		5		0		9		5		10		10		10		10		5					
<b>Punktezahl 3. Trimester Pflicht + Wahlpflicht</b>		<b>12</b>		<b>22</b>		<b>17</b>		<b>21</b>		<b>22</b>		<b>16</b>		<b>19</b>		<b>22</b>		<b>22</b>		<b>22</b>		<b>22</b>			
<b>Punktezahl 1. Studienjahr insgesamt (nur p + wp)</b>		<b>66</b>		<b>74</b>		<b>69</b>		<b>67</b>		<b>69</b>		<b>60</b>		<b>58</b>		<b>69</b>		<b>69</b>		<b>74</b>					
4	Wintertrimester	Wahlmodul 3																							
		Wahlmodul 4																							
		Computational Fluid Dynamics II	5																			wp	5		
		Projektmanagement	5	wp	5								wp	5		wp	5								
		Dynamik & Regelung von Satelliten	5										p	5		wp	5					p	5		
		Raumfahrtantriebe	5					wp	5				p	5		p	5		wp	5					
		Additive Fertigung	5					wp	5																
		Flugsystemtechnik II	5	p	5								wp	5											
		Aerothermodynamik	5					p	5					wp	5										
		Flugführung & Automation	5																						
		Weltraumnutzung (Sicher. Satnav; Space Comm)	4																				p	4	
		Autonome Systeme	5																				p	5	
		Apparatives Praktikum	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5
		Punktezahl 4. Trimester Pflicht (inkl. app. Prakt.)		10		5		10		10		10		15		9		10		10		5			
Punktezahl 4. Trimester Wahlpflicht		5		5		5		5		0		10		15		0		0		5					
<b>Punktezahl 4. Trimester Masterstudium</b>		<b>15</b>		<b>10</b>		<b>15</b>		<b>15</b>		<b>10</b>		<b>25</b>		<b>24</b>		<b>10</b>		<b>10</b>		<b>10</b>		<b>10</b>			
5	FT	Masterarbeit (30 CP, 5 Monate)		30		30		30		30		30		30		30		30		30		30			
	VFZ			47		50		50		47		50		51		48		50		50		50			
		<b>Gesamtpunktezahl Pflicht + Wahlpflicht+PA+MA+APP</b>		<b>111</b>		<b>114</b>		<b>114</b>		<b>112</b>		<b>109</b>		<b>115</b>		<b>112</b>		<b>109</b>		<b>109</b>		<b>114</b>			
		<b>Verbleiben für Wahlmodule</b>		<b>9</b>		<b>6</b>		<b>6</b>		<b>8</b>		<b>5</b>		<b>8</b>		<b>11</b>		<b>11</b>		<b>11</b>		<b>6</b>			
		<b>CP Pflicht (ohne Studium+, APP, PA &amp; MA)</b>		<b>37</b>		<b>40</b>		<b>40</b>		<b>37</b>		<b>40</b>		<b>41</b>		<b>38</b>		<b>40</b>		<b>40</b>		<b>40</b>			
		<b>CP Wahlpflicht</b>		<b>25</b>		<b>25</b>		<b>25</b>		<b>26</b>		<b>20</b>		<b>25</b>		<b>25</b>		<b>20</b>		<b>20</b>		<b>25</b>			

## Apparative Praktika

Zur Auswahl des Apparativen Praktikums gibt es Empfehlungen und Alternativen im Hinblick auf einen gewünschten Studienschwerpunkt. Das vollständige und regelgerechte Absolvieren eines Studienschwerpunktes ist jedoch nicht von diesen assoziierten Praktika abhängig. Studierende sind also diesbezüglich frei in Ihrer Wahl.

	ECTS	Luftfahrt-system-technik	Bauweisen und Werkstoffe	Aerothermo-dynamik	Flug-führungs-systeme	Antriebe	Raumfahrt-technik	Weltraum-nutzung	Autonome Systeme	Regelungs-technik	CAE-Methoden
app. Praktikum Luftfahrttechnik	5	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative
app. Praktikum Bauweisen & Werkstoffe	5	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung
app. Praktikum Thermodynamik	5	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung
app. Praktikum Fluidodynamik	5	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung
app. Praktikum Flugführungssysteme	5	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative
app. Praktikum Antriebstechnik	5	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative
app. Praktikum Raumfahrttechnik	5	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative
app. Praktikum Satellitennavigation & Erdbeobachtung	5	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative
app. Praktikum Regelungstechnik	5	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative
app. Praktikum Autonome Systeme	5	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative

## Wesentliche Änderungen gegenüber vorhergehenden Fassungen des MHB LRT Ma.Sc.

### Schwerpunkt Regelungstechnik:

Um adäquate regelungstechnische Lehrinhalte für die Studienschwerpunkte RT, TAS, CAE und FFS auch im Masterstudiengang LRT des Jahrganges 2022 sicher zu stellen, werden die temporären Änderungen, die für den Masterstudiengang LRT 2021 eingeführt wurden, aufrecht erhalten:

- Das Modul (1083) „Regelungstechnisches Rechnerpraktikum“ wird ersetzt durch (1059) „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“
- Das Modul (1075) „Moderne Methoden der Regelungstechnik“ wird ersetzt durch (1004) „Optimale Steuerung und Regelung“

Die Änderungen sind im vorstehenden Studienverlaufsplan gekennzeichnet.

- Das Apparative Praktikum Regelungstechnik wird im WT 2022 nicht angeboten werden können.

### Schwerpunkt Bauweisen und Werkstoffe:

- das neue Wahlpflichtfach „Additive Fertigung“ ersetzt das Wahlpflichtfach „FVW-Strukturen“

**Schwerpunkt Antriebe:**

- das Wahlpflichtfach „Flugsystemtechnik II“ wurde durch Wahlpflichtfach „Flugzeugentwurf“ ersetzt.
- das Modul „Flugsystemtechnik I“ wurde Pflichtfach
- das Modul „Computational Fluid Dynamics I“ wurde Wahlpflichtfach

# Inhaltsverzeichnis

## **Pflicht- und Wahlpflichtmodule schwerpunktübergreifend 2022**

1004	Optimale Steuerung und Regelung.....	5
1048	Aerothermodynamik.....	7
1049	Antriebskomponenten.....	9
1050	Autonome Systeme.....	11
1052	Chemische Thermodynamik.....	13
1054	Dynamik und Regelung von Satelliten.....	15
1055	Erdbeobachtung.....	17
1056	Filter- und Schätzverfahren.....	20
1057	Finite Elemente.....	22
1058	Flugführungssysteme.....	24
1059	Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum.....	28
1060	Flugführung und Automation.....	30
1061	Flugsystemtechnik I.....	32
1062	Flugsystemtechnik II.....	35
1063	Flugzeugaerodynamik.....	37
1064	Flugzeugentwurf.....	39
1066	Gasdynamik.....	42
1067	Höhere Technische Mechanik.....	44
1068	Leichtbaustrukturen.....	46
1069	Luftfahrtantriebe.....	48
1070	Kontinuierliche und Digitale Regelung.....	50
1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften.....	54
1072	Messmethoden in der Strömungsmechanik.....	56
1073	Messtechnik.....	58
1076	Moderne Strukturwerkstoffe.....	60
1077	Nichtgleichgewichts -Thermodynamik.....	62
1078	Numerische Mathematik.....	64
1079	Projektmanagement.....	66
1080	Prozessrechentechnik.....	68
1081	Raumfahrtantriebe.....	70
1082	Regelungstechnik.....	72
1086	Satellitensysteme.....	75
1087	Sensortechnik.....	77
1088	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen.....	79
1089	Strukturdynamik.....	81



1090	Wärme- und Stofftransport.....	84
1092	Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung.....	86
1094	Satellitennavigation.....	89
1423	Methoden in der Produktentwicklung.....	92
1461	Orbitmechanik und Missionsanalyse.....	95
1550	Additive Fertigung.....	97
3827	Computational Fluid Dynamics I.....	99
3828	Computational Fluid Dynamics II.....	101
3845	Betriebsfestigkeit.....	103

### **Wahlmodule alle - LRT 2022**

1065	FVW- Strukturen.....	105
1154	Einführung in die Klebtechnik.....	108
1161	Fahrzeugdynamik.....	110
1172	Flugbahnoptimierung.....	112
1176	Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure.....	114
1191	Maschinendynamik.....	116
1194	Nichtlineare Finite-Elemente-Methode.....	118
1200	Praktische Flugversuchstechnik.....	120
1205	Satellitenbetrieb.....	122
1206	Satellitenbetrieb Praxis.....	124
1209	Thermalhaushalt bei Satelliten.....	126
1352	Nichtlineare Regelungstechnik.....	128
1355	Praktikum Optimale Steuerung.....	130
1356	Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung.....	132
1424	Produkt- und Innovationsmanagement.....	134
1481	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme.....	136
1491	Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken.....	138
1492	Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/Thermofluidodynamik..	140
1516	Fernflugkörper.....	142
1519	Auslandsaufenthalt.....	144
1520	Munich Aerospace.....	145
1895	Werkstoffe für militärische Anwendungen.....	146
1896	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen.....	148
1897	Technische Verbrennung.....	151
3000	Flugzeugbau.....	153
3508	Die deutsche Raumfahrt - Bedeutung, Politik, Struktur.....	155
3689	Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen.....	157
3830	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik.....	159
3831	Biomedizin der Marsmission.....	161
3910	Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte.....	163

**Masterarbeit - LRT 2022**

1096	Masterarbeit LRT.....	165
------	-----------------------	-----

**Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022**

1178	Apparatives Praktikum Antriebstechnik.....	166
1179	Apparatives Praktikum Autonome Systeme.....	168
1180	Apparatives Praktikum Flugführungssysteme.....	170
1181	Apparatives Praktikum Fluiddynamik.....	172
1183	Apparatives Praktikum Luftfahrttechnik.....	174
1184	Apparatives Praktikum Raumfahrttechnik.....	176
1185	Apparatives Praktikum Regelungstechnik.....	178
1186	Apparatives Praktikum Satellitennavigation, Erdbeobachtung.....	180
1187	Apparatives Praktikum Thermodynamik.....	182
1188	Projekt.....	184
3832	Apparatives Praktikum Bauweisen & Werkstoffe.....	186

**Verpflichtendes Begleitstudium plus**

1008	Seminar studium plus, Training.....	188
------	-------------------------------------	-----

<b>Übersicht des Studiengangs: Konten und Module.....</b>		<b>191</b>
---	--	------------

<b>Übersicht des Studiengangs: Lehrveranstaltungen.....</b>		<b>194</b>
---	--	------------

Modulname	Modulnummer
<b>Optimale Steuerung und Regelung</b>	1004

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10041	VL	Optimale Steuerung und Regelung	Pflicht	4
10042	UE	Optimale Steuerung und Regelung	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse in höherer Mathematik und Numerik, Kenntnisse in Regelungstechnik und Optimierung sind vorteilhaft.
Qualifikationsziele
Die Studierenden erwerben im Modul Kenntnisse zur Theorie und Numerik von Optimalsteuerungsproblemen sowie deren Anwendung in Regelungsaufgaben. Darüber hinaus lernen die Studierenden, Aufgaben aus der Praxis zu modellieren und mithilfe von Softwarepaketen zu lösen.
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellierung und Formulierung von Optimalsteuerungsproblemen</li> <li>• Notwendige Bedingungen für Optimalsteuerungsprobleme: lokales und globales Minimumprinzip</li> <li>• Numerische Methoden für Optimalsteuerungsprobleme: indirekte Methoden und direkte Diskretisierungsmethoden</li> <li>• Gitterbasierte Methoden auf Basis der Wertefunktion; Konstruktion von Feedback-Reglern</li> <li>• Anwendung der Methoden in modell-prädiktive Regelungsverfahren</li> <li>• Anwendungsbeispiele und deren praktische Lösung</li> </ul>
Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• M. Gerds: Optimal Control of ODEs and DAEs, De Gruyter, Berlin, 2011.</li> <li>• L. Grüne, J. Pannek: Nonlinear Model Predictive Control - Theory and Algorithms, 2nd Edition, Springer, 2017.</li> </ul>
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit
Pflichtmodul im Master-Studiengang Luft- und Raumfahrttechnik in verschiedenen Vertiefungsrichtungen
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Aerothermodynamik</b>	1048

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10481	VÜ	Aerothermodynamik	Pflicht	4
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Der Besuch der Vorlesung Aerodynamik und/oder Gasdynamik wird empfohlen.

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden können die Bedeutung der Aerothermodynamik bei technischen Problemstellungen hinsichtlich Machbarkeit, Technologie und zukünftigen Trends einordnen.</li> <li>2. Die Studierenden können für einfache Fälle mechanische und thermische Lasten abschätzen.</li> <li>3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, für die jeweiligen Anwendungen sinnvolle Konfigurationen vorschlagen zu können.</li> <li>4. Die Studenten bekommen Einblick in einige Phänomene, die nicht direkt LRT zuzuordnen sind.</li> </ol>

Inhalt
<p>Die Studierenden erwerben im Modul Aerothermodynamik das Grundwissen zu und das Verständnis der Aerothermodynamik mit den vielfältigen gekoppelten Wechselwirkungen die bei heißen und/oder sehr schnellen Strömungen auftreten.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden erhalten eine Einführung in die Bedeutung der Aerothermodynamik bei Problemstellungen aus dem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik. Insbesondere werden Anwendungen zum Atmosphäreneintritt und zu Raketen-/Staustrahlerströmungen vermittelt.</li> <li>2. Ausgehend von einer Betrachtung von reibungsfreien Über-/Hyperschallströmungen unter Idealgasannahme werden schrittweise zusätzliche Kopplungen wie z.B.             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reibungseffekte,</li> <li>• Effekte von einfachen chemischen Reaktionen im Gleichgewicht und Nichtgleichgewicht</li> </ul> </li> </ol>

eingeführt und um Ansätze zur Beschreibung von Hochtemperaturgaseigenschaften erweitert. 3. Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf insbesondere Erdwiedereintritt sowie Reichweitenflug von Flugkörpern 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 insbesondere von Wiedereintrittsfluggeräten.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Antriebskomponenten	1049

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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

- Darauf aufbauend wird auf die dreidimensionale Strömung in Turbomaschinen eingegangen. Ausgehend vom charakteristischen Strömungsbild werden Sekundärströmungsphänomene sowie die dreidimensionalen Schaufelgitterinteraktionen umfassend behandelt.
- 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.
- 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.

#### Literatur

- Cumpsty N.A.: Compressor Aerodynamics. Krieger Publishing Company, 2004 (engl.).
- Fister W.: Fluidenergiemaschinen, Band 1 und 2. Berlin: Verlag Springer, 1984, 1986.
- Scholz N.: Aerodynamik der Schaufelgitter. Karlsruhe: Verlag G. Braun, 1965.
- Traupel W.: Thermische Turbomaschinen, Band 1 und 2. Berlin: Verlag Springer, 1977, 1982.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner, Formelsammlung) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel).

#### Verwendbarkeit

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 Herbsttrimester statt.



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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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
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 bewegender 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 statt.

Modulname	Modulnummer
Chemische Thermodynamik	1052

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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

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 (-> 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.
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
Verwendbarkeit
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-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
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: Formelsammlung, Taschenrechner</li></ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen sowie angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Dynamik und Lageregelung von Satelliten.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Erdbeobachtung</b>	1055

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
150	84	66	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	3
11471V	VL	Optische Fernerkundung (VL)	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>7</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 Bildentzerrung (Orthophotogenerierung). Für die Auswertung der spektralen Information der Sensoren werden Techniken der überwachter und unüberwachter Klassifikation vorgestellt.

### **Radar- und Lasermethoden**

- Einleitung und allgemeiner Überblick
- Streuung elektromag. Wellen an künstlichen und natürlichen Objekten
- Radartechnik
- SAR-Prinzip
- SAR-Systeme
- SAR - Interferometrie
- Laserscanning

### **Interferometrische SAR-Methoden**

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

## Literatur

- Albertz J.: Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2001. (Standardlehrbuch für die Veranstaltung "Einführung in die Erdbeobachtung").



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lillesand T.M., Kiefer R.W.: Remote Sensing and Image Intepretation. John Wiley &amp; Sons Inc, 2008. (wichtige Ergänzung für die Veranstaltung "Einführung in die Erdbeobachtung?").</li> <li>• Efford N.: Digital Image Processing. Addison-Wesley, 2000. (Ergänzungen für die Veranstaltung "Einführung in die Erdbeobachtung").</li> <li>• CEOS - Committee on Earth Observation Satellites: The Earth Observation Handbook. ESA Special Publication SP-1315. June, 2008. (Online-Version: <a href="http://www.eohandbook.com">http://www.eohandbook.com</a>).</li> <li>• Borengasser M., Hungate W.S., Watkins R.: Hyperspectral Remote Sensing. Principles and Applications. CRC Press, 2007.</li> <li>• Kalacska M.; Sanchez-Azofeifa G.A. (editors): Hyperspectral Remote Sensing of Tropical and Sub-Tropical Forrests. CRC Press, 2008.</li> <li>• 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?").</li> <li>• 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").</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
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.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt im Wintertrimester.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche	Pflicht	3

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

Die Studierenden

1. kennen die wesentlichen Verfahren zur Filterung verrauschter Messdaten und zur Schätzung unbekannter Zustandsgrößen aus solchen Daten.
2. verstehen die wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren und kennen ihre Vor- und Nachteile
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.

#### 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.

<p>Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einführung: Wiederholung zur Darstellung linearer, zeitdiskreter Systeme im Zustandsraum und zur Beobachtbarkeit. Auffrischung von Grundlagen der Stochastik und der Fehlermodellierung. Wahl von Koordinatensystemen.</li> <li>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.</li> <li>3. Wiederholung des Luenberger Beobachters im Zustandsraum</li> <li>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.</li> <li>5. Einführung in die Square Root Filter. Der UD-faktorierte Kalman Filter.</li> <li>6. Unscented Kalman Filter.</li> <li>7. Partikel filter</li> <li>8. Spezielle Themen der Filter- und Schätztheorie:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verarbeitung von Messwerten aus unterschiedlichen Zeitpunkten.</li> <li>• Zuordnung realer Messwerte zu vorhergesagten Messwerten (welcher Messwert gehört zu welchem Objekt?).</li> <li>• Datenfusion</li> </ul> </li> </ol>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>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.</p> <p>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.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Finite Elemente	1057

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Pflicht	2

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
Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul Finite Elemente sind die Studierenden in der Lage, die Grundbegriffe und den theoretischen Hintergrund der linearen FEM wiederzugeben. Sie können die Methode der Finiten Elemente zu anderen numerischen Verfahren abgrenzen, verstehen das Vorgehen bei der FEM und können diese zur Berechnung von linear elastischen Strukturen anwenden. Die Studierenden können komplexe Aufgabenstellungen methodisch analysieren und unterschiedliche Modellierungskonzepte differenziert bewerten. Sie werden in die Lage versetzt, die Ergebnisse entsprechender Berechnungen zu verstehen und kompetent einzuschätzen. Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden zudem in der Lage, ein kommerzielles FE-Programm in Grundzügen zu benutzen.

Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersicht über numerische Näherungsverfahren</li> <li>• Mathematische Grundlagen, Einführung in die Variationsrechnung, Prinzip der virtuellen Arbeit</li> <li>• Herleitung einfacher Elementformulierungen</li> <li>• Elementtypen (Art, Freiheitsgrade, Besonderheiten, Auswahl) und Anwendungsbereiche für die Elemente</li> <li>• Modellbildung und Diskretisierung komplexer Strukturen</li> <li>• Anwendung unterschiedlicher Solver (Lineare Statik, Modalanalyse, Transient Response)</li> <li>• Modellverifikation (Fehlerquellen, Standard-Tests, Konvergenz)</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Numerische Aspekte bei der Berechnung (Singularitäten, Konditionierung, quadratische Elemente, Shear-Locking, numerische Integration)</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 statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Flugführungssysteme</b>	1058

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Pflicht	2

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
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen</li> <li>• Grundkenntnisse in Aerodynamik, Grundkenntnisse in Flugmechanik (stationäre Flugzustände, statische Stabilität)</li> <li>• Kenntnisse in Systemanalyse und Regelkreissynthese</li> </ul>

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden verstehen die Aufgaben der Flugdynamik und Flugregelung und können das Wissensgebiet in den Kontext der luftfahrttechnischen Disziplinen einordnen.</li> <li>• Die Studierenden sollen die physikalischen Ursachen der auf das Flugzeug wirkenden Kräfte und vor allen Momente in der Längs- und Seitenbewegung kennen und diese in systematischer Weise anhand der Derivativschreibweise identifizieren können.</li> <li>• Die Studierenden sollen die Bewegungsdifferentialgleichungen des Flugzeugs verstehen und deren Linearisierung um einen Bezugsflugzustand nachvollziehen können.</li> <li>• Die Studierenden sollen die typischen Eigenbewegungsformen eines konventionellen Flächenflugzeugs kennen und daran die dynamischen Stabilitätsbedingungen diskutieren können.</li> <li>• Die Studierenden sollen die Anwendung regelungstechnischer Methoden auf die Differenzialgleichungen der Flugzeugbewegung nachvollziehen können und anhand der Resultate das dynamische Übertragungsverhalten des Flugzeugs diskutieren können.</li> <li>• 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.</li> </ul>

- 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, Phygoide, 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 Vorgaberegulation („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 Nicklageregler 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:

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über den Systembegriff der „Flugführung“ und die Einordnung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik.



<ul style="list-style-type: none"> <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>
In diesem Studiengang:  Voraussetzung für das Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“  Voraussetzung für das Modul „Flugführung & Automation“  Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Flugführungssysteme“
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt mit Flugdynamik & Flugregelung im Wintertrimester und Flugführung & Navigation im Frühjahrstrimester.

Modulname	Modulnummer
<b>Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum</b>	1059

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Pflicht	3

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 Flugzeugbewegung 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,

<p>konventioneller Flächenflugzeuge einschließlich der Modifikation durch Flugregelsysteme auf dem Digitalrechner. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Die Studierenden führen anhand von Modelldaten folgende Berechnungen unter Nutzung von Matlab durch: Bezugsflugzustand/Trimmrechnung, Ersatzgrößen/lineares Zustandsraummodell.</li> <li>• Die Studierenden entwickeln und testen eine Software zur Flugsimulation auf der Basis des in der Lehrveranstaltung „Flugdynamik &amp; 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.</li> <li>• 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).</li> <li>• 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.</li> <li>• Die Studierenden experimentieren mit dem Simulator im Hinblick auf die Untersuchung unterschiedlicher Flugeigenschaften. Dazu sollen Peripheriegeräte angeschlossen werden, die eine virtuelle Echtzeitsimulation ermöglichen.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>In diesem Studiengang:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“</li> </ul>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Pflicht	4

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 zur Analyse des Zusammenwirkens von Mensch und Automation. Hierbei kommt insbesondere das Konzept des Arbeitssystems zur Anwendung.

<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>
Benoteter Schein <ul style="list-style-type: none"> <li>• Präsentation im Rahmen des Seminars</li> <li>• Mündliche Wissensabfrage</li> </ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
In diesem Studiengang: Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik I	1061

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Pflicht	3

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
Luftfahrttechnik

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 Missionserfolg und insbesondere die 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 „Luftfahrttechnik“ 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 „Luftfahrttechnik I“ detaillierter auf einzelne Teilsysteme eines Luftfahrzeuges eingegangen. Die Betrachtung erfolgt dabei sowohl aus funktionaler als auch aus systemtechnischer Sicht. Die dabei vorgenommenen Betrachtungen gelten dabei sowohl für Flächenflugzeuge als auch Drehflügler.</p> <p>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

vorge stellt sowie Analysemethoden wie

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

diskutiert und an einem Beispiel angewendet.

#### Literatur

- Moir I.; Seabridge A.: Aircraft Systems; Wiley, 2008.
- Langton R. (Ed.); Aircraft Fuel Systems; Wiley, 2009.
- Birrolini; Zuverlässigkeit von Geräten und Systemen; Springer, Berlin, 1997

<ul style="list-style-type: none"><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 statt.



Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik II	1062

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-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
10621	VÜ	Flugsystemtechnik II	Pflicht	4
10622	SE	Flugsystemtechnik II	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Luftfahrttechnik, Flugsystemtechnik I

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der/die Studierende hat vertiefte Kenntnisse der IT-technischen Infrastruktur an Bord eines Luftfahrzeugs.</li> <li>2. Der/die Studierende kennt Aufgaben und Leistungsgrenzen der wesentlichen Kommunikations- und Datalinksysteme als Schnittstelle zum Boden.</li> <li>3. Der/die Studierende kennt die Stärken und Schwächen verschiedener Missionssensorsysteme, kann die unterschiedlichen technischen Varianten vergleichen und hat vertiefte Kenntnisse über deren Funktionsprinzip.</li> </ol>

Inhalt
<p>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.</p> <p>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</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen eingebetteter Rechnersysteme und -strukturen,</li> <li>• digitale Bussysteme sowie die sog.</li> <li>• "Integrierte Modulare Avionik"</li> </ul>

<p>angesprochen.</p> <p>Anschließend werden weitere, darauf aufbauende Subsysteme wie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunikations- und Datalinksysteme</li> <li>• Missionssensorsysteme sowie</li> <li>• Bewaffnung / ECM / ESM / DASS.</li> </ul> <p>behandelt.</p> <p>Parallel werden als seminaristischer Anteil durch die Studierenden ausgewählte Einzelthemen, die an den behandelnden Inhalt angelagert sind, aufbereitet und in Form von Kurzpräsentationen vorgetragen.</p>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moir; Seabridge; Civil Avionics Systems; Wiley, 2003.</li> <li>• Tooley: Aircraft Digital Electronics and Computer Systems; Elsevier, 2007</li> <li>• Flühr; Avionik und Flugsicherungstechnik; Springer, 2009</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Benoteter Schein</p> <p>Die Erstellung der Kurzpräsentationen erfolgt als Gruppenarbeit.</p> <p>Der Schein setzt sich zusammen aus der bewerteten Kurzpräsentation und einer weiteren mündlichen/schriftlichen Wissensabfrage.</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>Es wird grundlegendes Fach- und Methodenwissen für die spätere Tätigkeit als System- und Entwicklungsingenieur vermittelt.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.</p>

Modulname	Modulnummer
<b>Flugzeugaerodynamik</b>	1063

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse aus den Modulen „Höhere Mathematik“, „Strömungsmechanik“ und „Grundlagen der Aerodynamik“
Qualifikationsziele
<p>Die Studierenden sind in der Lage, dem Einfluss der Kompressibilität auf die Profilaerodynamik Rechnung zu tragen.</p> <p>Die Studierenden beherrschen die Anwendung der Potentialgleichung bei kompressibler Strömung.</p> <p>Die Schwierigkeiten des Flügels in der Transonik sind den Studierenden bekannt.</p> <p>Die Studierenden wissen um die Auswirkung der Flügelpfeilung.</p> <p>Die Studierenden kennen die Varianten mechanischer Hochauftriebshilfen und deren potentialtheoretische Berechnungsmethodik.</p> <p>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.</p> <p>Die Studierenden verstehen die Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs.</p> <p>Die Studierenden können die Umströmung einfacher Rumpfgeometrien mit Hilfe der Potentialtheorie nachvollziehen und kennen die mit reibungsbehafteter Strömung verbundenen Probleme und Gegenmaßnahmen.</p>
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompressible Strömung/Aerodynamik</li> <li>• Pfeilflügel</li> <li>• Hochauftriebshilfen</li> <li>• Reine Überschallaerodynamik</li> <li>• Theorie schlanker Körper</li> <li>• Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs</li> <li>• Rumpfaerodynamik</li> </ul>

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

Modulname	Modulnummer
Flugzeugentwurf	1064

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Stütz	Pflicht	2

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
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der/die Studierende kennt den Produkt-Lebensdauerzyklus eines Luftfahrzeugs, sowie die Einbindung des Konzept- und Vorentwurfs.</li> <li>2. Der/die Studierende kennt den Ablauf der Arbeitsschritte im Konzeptentwurf.</li> <li>3. Der/die Studierende kennt die für den Konzeptentwurf wichtigen Auszüge der Zulassungsvorschriften.</li> <li>4. Der/die Studierende kann die Punkteleistungen für ein Fluggerät berechnen und kennt die Einflüsse der konstruktiven Parameter.</li> <li>5. Der/die Studierende kennt die unterschiedlichen Arten von Flugmissionen sowie die Unterteilung in Missionssegmente.</li> <li>6. Der/die Studierende kann die Start- und Landestrecke berechnen und kennt die Einflüsse der konstruktiven Parameter.</li> <li>7. Der/die Studierende kann die Reichweite einer Konfiguration sowie den reichweitenoptimalen Betriebspunkt bestimmen und daraus ein Nutzlast-Reichweitendiagramm erstellen.</li> <li>8. Der/die Studierende kann mit Hilfe des Auslegungsdiagramms anhand vorgegebener Randbedingungen den optimalen Auslegungspunkt für eine Flugzeugkonfiguration bestimmen.</li> <li>9. Der/die Studierende kennt die Grundlagen der Erstellung statistischer Formeln für die Massenabschätzung.</li> <li>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.</li> <li>11. Der/die Studierende kennt die Randbedingungen für die Auslegung von Flügel, Rumpf, Leitwerk und Fahrwerk sowie deren Integration.</li> </ol>

- 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 Flügelspannweite 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 Schwerpunktfrage 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.
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Anderson J.D.: Aircraft performance and design. Boston, 1999</li><li>• Fielding, J.P.: Introduction to aircraft design. Cambridge, 2003</li><li>• Howe, D.: Aircraft Conceptual Design. Suffolk, 2000</li><li>• Raymer, D.P.: Aircraft Design: A conceptual Approach. AIAA Education Series, 1992</li><li>• Roskam J.: Airplane Design. Parts I-VIII. Kansas, 1989</li><li>• Torenbeek, E.: Synthesis of subsonic Airplane Design. Delft, 1982</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<b>Benoteter Schein</b> Die Übung erfolgt als Entwurfsaufgabe in Gruppenarbeit. Der Schein setzt sich zusammen aus der bewerteten Gruppenarbeit und einer weiteren mündlichen/schriftlichen Wissensabfrage.
<b>Verwendbarkeit</b>
Die Inhalte des Moduls liefern die Grundlagen zur Analyse und Synthese von Flächenflugzeugen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Gasdynamik</b>	1066

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. rer. nat. Sven Scharnowski	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
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden können Form und Lage auftretender Verdichtungsstöße und Expansionswellen bei der Umströmung von zweidimensionalen Körpern sowie der Durchströmung von Düsen vorhersagen</li> <li>• Die Studierenden können Änderungen der Strömungsgrößen in zweidimensionalen kompressiblen Strömungen berechnen</li> <li>• Die Studierenden können das Charakteristikenverfahren zur Berechnung von Überschallströmungen für einfache Fälle anwenden</li> <li>• Die Studierenden kennen die wesentlichen Realgaseffekte und wissen, wann sie auftreten und berücksichtigt werden müssen</li> <li>• Die Studierenden haben Grundkenntnisse über die Temperatureffekte bei kompressiblen Grenzschichtströmungen</li> <li>• Die Studierenden sind mit der Erzeugung von Überschallströmung vertraut und kennen Beispiele für die wesentliche Messtechnik zur Analyse kompressibler Strömung</li> </ul>
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamische Grundlagen</li> <li>• Die Gasdynamische Grundgleichung</li> <li>• Die linearisierte Potentialgleichung</li> <li>• Senkrechter Verdichtungsstoß</li> <li>• Schiefer Verdichtungsstoß</li> <li>• Prandtl-Meyer Strömung</li> <li>• Wechselwirkung von Stößen und Expansionen</li> <li>• Charakteristikenverfahren</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düsenströmung</li> <li>• Realgaseffekte</li> <li>• Grenzschichten in kompressiblen Strömungen</li> <li>• Versuchsanlagen</li> <li>• Messmethoden der Gasdynamik</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anderson, J.D. (2004). Modern Compressible Flow with Historical Perspective, Mc Graw-Hill</li> <li>• Anderson, J.D. (2006). Hypersonic and hightemperature gas dynamics. American Institute of Aeronautics and Astronautics</li> <li>• Hirschel, E.H. (2015). Basics of Aerothermodynamics, Springer-Verlag</li> <li>• Jischa, M. (1982). Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch, Vieweg</li> <li>• Krause, E. (2003). Strömungslehre, Gasdynamik und Aerodynamisches Laboratorium. Springer-Verlag</li> <li>• Liepmann, H.W., &amp; Roshko, A. (2001). Elements of gasdynamics. Courier Corporation</li> <li>• Sauer, R. (2013). Theoretische Einführung in die Gasdynamik, Springer-Verlag</li> <li>• White, F.M. (2016). Fluid Mechanics, in SI Units, Mc Graw-Hill</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel).
<b>Verwendbarkeit</b>
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.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

Empfohlene Voraussetzungen
Technische Mechanik I und II

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

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

- Globale und lokale Form der Bilanzgleichungen: Massenbilanz, Impulsbilanz, Drehimpulsbilanz, Energiebilanz und Entropiebilanz, Freie Helmholtzsche Energiefunktion, Herleitung und Auswertung der Clausius-Duhem-Ungleichung
- Materialmodelle der Fluidmechanik und Festkörpermechanik, Fouriersche Wärmeleitung, Inkompressibilität, Navier-Stokes Gleichung, Lamé-Navier Gleichung, Zugversuch, Scherversuch- und Kompressionsversuch
- Ausgewählte Probleme der Festkörpermechanik: isotrope und anisotrope Stoffe, Kompatibilitätsbedingungen, Materialmodelle in Zylinderkoordinaten

#### Literatur

- Altenbach: Kontinuumsmechanik, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuumsmechanik, Springer Verlag.
- Gross, Hauger, Wriggers: Technische Mechanik 4, Springer Verlag.
- Haupt: Continuum Mechanics and Theory of Materials, Springer Verlag.
- Szabo: Höhere Technische Mechanik, Springer Verlag.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

#### Verwendbarkeit

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.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Leichtbaustrukturen	1068

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Pflicht	2

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
<ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, Stabilitätsprobleme dünnwandiger stabartiger Tragwerke zu klassifizieren. Sie können die stabilitätskritischen Lasten für einfache dünnwandige Tragwerke ermitteln.</li> <li>3. Die Studierenden besitzen ein grundlegendes Verständnis für die Wirkungsweise von Membrankreiszyinderschalen ohne und mit Umfangsversteifungen (Spante).</li> </ol>

Inhalt
<p>Die Studierenden erhalten im Modul „Leichtbaustrukturen“ vertiefende Kenntnisse über Leichtbaustrukturen. Besondere Berücksichtigung finden Phänomene der Krafteinleitung und der Stabilität dünnwandiger Strukturen. Ein erster Einblick in die Funktionsweise und Berechnung von Membrankreiszyinderschalen wird gegeben.</p> <p>Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lastein-/umleitungen, Dreigurtscheibe, analytische Lösung, Shear-Lag Theorie.</li> <li>- Stabilität von Leichtbaustrukturen + Stab-Feder-Systeme</li> </ul>

<p>Verzweigungsproblem, Durchschlagsproblem, Systeme mit mehreren Freiheitsgraden, kombinierte Beanspruchungen (Interaktionsformeln).</p> <p>+ Elastische Tragwerke</p> <p>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</p> <p>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>
<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>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.</p>

Modulname	Modulnummer
<b>Luftfahrtantriebe</b>	1069

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Reinhard Niehuis	Pflicht	2

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 der Regelung, die Formulierung von geeigneten Ähnlichkeitskenngrößen sowie das instationäre Betriebsverhalten behandelt.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

#### Literatur

- Bräunling W.: Flugzeugtriebwerke. Springer Verlag, 2004.
- Hagen H.: Fluggasturbinen und ihre Leistungen. Karlsruhe: Verlag G. Braun, 1982.
- Hünecke K.: Flugtriebwerke. Stuttgart: Verlag Motorbuch, 1978.
- Müller R.: Luftstrahltriebwerke. Grundlagen, Charakteristiken, Arbeitsverhalten. Braunschweig: Vieweg, 1997.
- Münzberg H.G.: Flugantriebe. Berlin: Springer-Verlag, 1972.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

#### Verwendbarkeit

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 statt.

Modulname	Modulnummer
Kontinuierliche und Digitale Regelung	1070

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts Prof. Dr. habil. Gunther Reißig	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 digitaler 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.

<ul style="list-style-type: none"> <li>Franklin G.F.; Powell, J.D.; Workman M.: Digital Control of Dynamic Systems. 3. Auflage. Menlo Park: Addison Wesley Longman, 1998.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung 165 Minuten oder mündliche Prüfung 60 Minuten.</p> <p>Regelungstechnik 90 Minuten (30 Minuten Fragenteil ohne Hilfsmittel und 60 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln außer Taschenrechner).</p> <p>Digitale Regelung 75 Minuten (25 Minuten Fragenteil ohne Hilfsmittel und 50 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln außer Taschenrechner).</p>
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung für das Modul „Filter und Schätzverfahren“
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 2 Semester, es beginnt im Wintersemester.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-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
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 zu ihrer Lösung zu vermitteln. Dazu führt das Modul in fortgeschrittene Kapitel der Höheren Mathematik ein und behandelt folgende Themen:
<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>
Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.</li> </ul>

- R. Ansorge, H. J. Oberle: Mathematik für Ingenieure. Band 2. Akademie Verlag, 1994.
- L. Debnath: Nonlinear partial differential equations for scientists and engineers. 2nd Edition, Birkhäuser, Basel, 2005.
- L. C. Evans: Partial differential equations. 2nd Edition, Graduate Studies in Mathematics, Vol. 19, American Mathematical Society, 2010.

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung mit 90 Minuten Dauer.

**Verwendbarkeit**

Voraussetzung für alle weiteren naturwissenschaftlich-technischen Module im Master-Studiengang LRT und als Grundlage für wissenschaftlich-technisches Arbeiten.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Messmethoden in der Strömungsmechanik	1072

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian J. 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
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden kennen das grundlegende Messprinzip der verschiedenen mechanischen, elektrischen und optischen Messverfahren.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> </ul>

Inhalt
<p>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.</p> <p>Im Modul "Messmethoden in der Strömungsmechanik" werden die wichtigsten mechanischen, elektrischen und optischen Messverfahren behandelt, die heute in der Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuchsanlagen für Modelluntersuchungen</li> <li>• Verfahren zur Visualisierung von Strömungen</li> </ul>

- Druckmessverfahren
- Kraftmessung
- Hitzdrahttechnik
- Laser Zwei Fokus Anemometer (L2F)
- Laser Doppler Anemometrie (LDA)
- Doppler Global Velocimetry (DGV)
- Particle Image Velocimetry (PIV)
- Particle Tracking Velocimetry (PTV)
- Schlierenverfahren
- Interferometer
- Thermographie
- Pressure Sensitive Paint (PSP)

#### Literatur

- Eckelmann H.: Einführung in die Strömungsmesstechnik. Teubner, 1997.
- Tropea C., Yarin A.L., Foss J.F.: Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Springer Verlag, 2007.
- Raffel M., Willert C., Wereley S., Kompenhans J.: Particle Image Velocimetry. Springer Verlag, 2007.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

#### Verwendbarkeit

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.

#### Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Messtechnik	1073

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Günther Dollinger	Wahlpflicht	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
- F. Bernhard, Technische Temperaturmessung, Springer, Berlin 2004



<b>Leistungsnachweis</b>
Messtechnik: schriftliche Prüfung 75 Minuten oder 30 Minuten mündliche Prüfung, Prüfungen März/April und September
Messtechnik Praktikum: Teilnahmechein
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 statt.

Modulname	Modulnummer
Moderne Strukturwerkstoffe	1076

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Eric Jäggle	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10761	VL	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	3
10762	UE	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Modul Werkstoffkunde (Bachelor), Modul Statische und Dynamische Beanspruchung von Werkstoffen

Qualifikationsziele
<p>Nach Bestehen dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• für gegebene Anforderungsfälle geeignete Werkstoffe systematisch auszuwählen und die ganzheitlichen Eigenschaftsprofile der verschiedenen Werkstoffe zu beurteilen.</li> <li>• wichtige Werkstoffklassen der Luft- und Raumfahrt zu benennen, ihre Struktureigenschaften einzuschätzen, sowie den werkstoffkundlichen Hintergrund des Materialdesigns zu beschreiben.</li> <li>• gängige Fertigungsverfahren zu beschreiben, den Einfluss dieser Verfahren auf Gefüge und Eigenschaften der verarbeiteten Werkstoffe zu beschreiben, sowie deren Anwendbarkeit hinsichtlich einfacher Bauteile zu bewerten.</li> <li>• Grundzüge der Auslegung und Berechnung zusammenzufassen und wesentliche Einflussfaktoren für das Strukturverhalten einzuschätzen.</li> </ul>

Inhalt
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Werkstoffauswahl             <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Auswahldiagramme und Werkstoffindices, softwarebasierte Werkstoffauswahl</li> <li>2. Gleichzeitige Optimierung mehrerer Größen</li> <li>3. Ökologische Werkstoffauswahl</li> </ol> </li> </ol>

2. Werkstoffaspekte der Verfahrenstechnik
  1. Urformen: Guss, Sintern und Additive Fertigung
  2. Umformen: Tiefziehen, Walzen, Extrudieren, Schmieden
  3. Spanende Bearbeitung
  4. Fügen: Schweißen, Löten, Kleben
  
3. Leichtbauwerkstoffe
  1. Leichtmetalle (Al-, Ti-, Mg-Legierungen)
  2. Hochfeste Stähle
  3. Technische Keramik
  4. Zelluläre Werkstoffe (Schäume, Gitterstrukturen, „architected materials“)
  
4. Faserkunststoffverbunde
  1. Einordnung und grundlegender Aufbau
  2. Faserwerkstoffe
  3. Matrixwerkstoffe
  4. Strukturmechanik von FKV (Eigenschaften und Werkstoffgesetz der UD-Schicht, Mehrschichtverbunde, Grundzüge der klassischen Laminattheorie)
  5. Auslegung & Einsatzgebiete
  6. Fertigungsverfahren & Qualitätssicherung

#### Literatur

- Ashby: Materials Selection in Mechanical Design. Spektrum Akad. Verlag, 2006.
- Hornbogen, Eggeler, Werner: Werkstoffe, Springer Verlag, 12. Auflage 2019.
- Polmear, StJohn, Nie, Qian: Light Alloys. Butterworth-Heinemann, 5. Auflage 2017.
- Schürmann: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Springer-Verlag, 2005.

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Das erworbene Wissen befähigt die Studierenden zum Verständnis von Strukturmaterialien, die in Luft- und Raumfahrzeugen verwendet werden. Sowohl die Herstellung und Verarbeitung, als auch das mechanische Verhalten werden betrachtet. Sie werden in die Lage versetzt, geeignete Werkstoffe für die vorgegebene Anwendung systematisch auszuwählen und Materialoptimierungen für zukünftige Strukturbauteile der Luft- und Raumfahrt vorzunehmen.

#### Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
<b>Nichtgleichgewichts -Thermodynamik</b>	1077

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Wahlpflicht	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 ingenieurwissenschaftlichen 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 gegenwärtigen 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> <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> <li>2) Davon ausgehend werden drei Hauptthemengebiete in ihren Grundzügen betrachtet. <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> </li> <li>3) Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf einfache Beispielsituationen erweitert und relevante Anwendungen in numerischen Verfahren diskutiert.</li> </ol>

<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 statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Numerische Mathematik</b>	1078

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. (habil) Markus Klein	Pflicht	2

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
<p>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.</p> <p>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.</p>
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersicht über die Grundtypen von linearen partiellen Differentialgleichungen und ihre physikalische Bedeutung</li> <li>• Grundzüge der Raum-Zeit-Diskretisation partieller Differentialgleichungen: Finite Differenzenverfahren, Finite Elementeverfahren, Finite Volumenverfahren.</li> <li>• Diskussion verschiedener Typen numerischer Fehler</li> <li>• Untersuchung der Konsistenz und Stabilität von Verfahren</li> <li>• Anwendung auf praktische Beispiele: Konvektionsgleichung, Wärmeleitungsgleichung, Wellengleichung</li> <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 statt.

Modulname	Modulnummer
Projektmanagement	1079

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Mag. Dr. habil. Thomas Pany	Pflicht	4

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	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				4

Empfohlene Voraussetzungen
keine

Qualifikationsziele
<p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• können zwischen verschiedenen Strategien zum Projektmanagement unterscheiden und deren Vor- und Nachteile bewerten.</li> <li>• erwerben Fähigkeiten in der Anwendung von Methoden und Tools für das Projektmanagement.</li> <li>• 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 anhand von Beispielen aus der Raumfahrt vertieft.</p> <p>Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung, Diskussion der Grundlagen, Begriffsdefinitionen und Abgrenzungen</li> <li>• Strategien im Projektmanagement</li> <li>• Vorgehensmodell für das Projektmanagement, Aufgaben und Merkmale der einzelnen Phasen</li> <li>• Methoden und Tools zur Unterstützung der einzelnen Phasen im Projektmanagement</li> </ul>



<ul style="list-style-type: none"><li>• Anwendung der Erkenntnisse an ausgewählten Beispielen des Projektmanagements aus der Raumfahrt</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Project Management Institute: A Guide to the Project: Management Body of Knowledge. (PMBOK Guide) An American National Standard, 4. Edition, ANSI/PMI 99-001-2008.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
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.
<b>Verwendbarkeit</b>
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..
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Prozessrechentechnik</b>	1080

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10801	VL	Prozessrechentechnik	Pflicht	2
10802	UE	Prozessrechentechnik	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 <ol style="list-style-type: none"> <li>1. wissen wann und wofür ein Prozessrechner eingesetzt werden muss.</li> <li>2. die wesentlichen Grundlagen des Hardware- Aufbaus von Prozessrechnern, sowie ihrer Datenein-/ausgabe verstehen.</li> <li>3. verstehen, wie ein Prozessrechner funktioniert.</li> <li>4. einen Prozessrechner programmieren können.</li> <li>5. die Anforderungen an Realzeitbetriebssysteme für die Steuerung bzw. Regelung verstehen.</li> <li>6. die wesentlichen Programmier Techniken für Realzeitsysteme kennen.</li> </ol>

Inhalt
Die Studierenden erwerben im Modul Prozessrechentechnik 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: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grundlagen der Automatisierung mit Prozessrechnern: Was sind Prozesse, technische Prozesse und Rechenprozesse. Besondere Kennzeichen von Prozessrechnern. Anforderungen industrieller Kommunikation. Typische Beispielszenarien und Anwendungsgebiete für Prozessrechner. Fragen der Zuverlässigkeit und Sicherheit.</li> </ol>

<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, Realzeituhren), 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>
<p><b>Literatur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Färber G.: Prozessrechentchnik. Grundlagen, Hardware, Echtzeitverhalten. Berlin: Springer, 1994</li> </ul>
<p><b>Leistungsnachweis</b></p> <p>Schriftliche Prüfung: 75 Minuten oder</p> <p>Mündliche Prüfung: 30 Minuten</p>
<p><b>Verwendbarkeit</b></p> <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>
<p><b>Dauer und Häufigkeit</b></p> <p>Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.</p>

Modulname	Modulnummer
Raumfahrtantriebe	1081

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Pflicht	4

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 statt.

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnik	1082

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. habil. Gunther Reißig	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 Regelkreises 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> <ol style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ol>

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 Minuten 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 statt.



Modulname	Modulnummer
Satellitensysteme	1086

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-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

Die Studierenden:

- Können die Besonderheiten verschiedener Raumfahrtmissionen aus systemtechnischer Sicht beurteilen.
- Können die Einflüsse der Weltraumumgebung auf das Design von Satellitensystemen einschätzen
- haben ein grundlegendes Verständnis für alle Subsysteme von Satelliten
- können für alle Subsysteme eine erste quantitative Auslegung durchführen

#### Inhalt

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, Thermalregelung, Datenverarbeitung, Kommunikation). Dabei werden zunächst die

<p>theoretischen Grundlagen erarbeitet, dann verschiedene technische Lösungen vorgestellt und abschließend gezeigt, wie eine erste qualitative und quantitative Auslegung des Subsystems vorgenommen werden kann.</p> <p>Die Gliederung der Vorlesung sieht wie folgt aus:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Raumfahrtmissionen aus systemtechnischer Sicht</li> <li>2. Einfluss der Weltraumumgebung auf Raumfahrzeuge</li> <li>3. Satellitensubsysteme: Energieversorgung, Antriebssysteme, Lage- und Bahnregelung, Thermalregelung, Datenverarbeitung, Kommunikation, Mechanismen, Konfiguration und Struktur</li> </ol>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ley, Wittman, Hallmann: Handbuch der Raumfahrttechnik</li> <li>• Wertz J.R., Larson W.J.: Space Mission Analysis and Design</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
<p>Schriftliche Prüfung 90 Minuten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 Minuten Frageteil: keine Hilfsmittel</li> <li>• 60 Minuten Aufgabenteil: 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 statt.

Modulname	Modulnummer
Sensortechnik	1087

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Wünsche	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10871	VL	Sensortechnik für Autonome Systeme	Pflicht	2
10872	UE	Sensortechnik für Autonome Systeme	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				4

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden die im Modul "Messtechnik" vermittelten Kenntnisse, sowie gute Kenntnisse über physikalische Grundgesetze, Digital-Elektronik und Statistik.

Qualifikationsziele
Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>wissen aus welchen wesentlichen Elementen die Sensoren und Sensor-Plattformen eines autonomen Systemn bestehen,</li> <li>verstehen die Funktionsweise der verwendeten Sensorsysteme,</li> <li>können die erlernten Kenntnisse im parallel stattfindenden Praktikum „Autonome Systeme“ beim Aufbau eines autonomen Modell-Fahrzeugs anwenden.</li> </ul>

Inhalt
<p>Die Studierenden erwerben im Modul „Sensortechnik für Autonome Systeme“ einen Überblick zur analogen und digitalen Meßtechnik, sowie detaillierte Einblicke in den Aufbau und die Verwendungsmöglichkeiten von Sensoren und von Sensorplattformen. Zunächst werden einige grundlegende Sensorprinzipien vorgestellt, worauf dann die wesentlichen internen und externen Sensorsysteme behandelt werden. Als Beispiel werden u.a. die im institutseigenen Fahrzeug eingebauten Sensorplattformen (Kamerasystem, LIDAR, Inertialplattform mit Dual GPS, ...) ausführlich erklärt.</p> <p>Ausgehend von einem Überblick über die Entwicklung und den derzeitigen Stand der Meßtechnik, der Sensortechnik und von Meßplattformen werden die folgenden Themenkreise behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Einleitung und kurze Wiederholung von: Wozu benötigen wir Sensoren, Beispiele für Sensoren in Robotern und (autonomen) Fahrzeugen, Einteilung von Sensoren.</li> </ul>

<p>Statistische Kenngrößen und typische Messfehler einschl. deren mathematischer Beschreibung. Sensormodelle und Sensoreigenschaften.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Messkette – von der Messgröße zum Messwert im Rechner Signalaufbereitung, Abtastung, Abtasttheorem, Aliasing, Analog-Digital-Wandler, Digitale Signalübertragung, Serielle Bussysteme, Digital-Analog-Wandler</li> <li>• Grundlegende Sensorprinzipien; Positionssensoren: Grundlegende Sensorprinzipien und -effekte, wie Hall-Sensor, induktiver Sensor, kapazitiver Sensor, magnetoresistiver, piezoelektrischer und piezoresistiver Effekt. Interne Sensoren: Messung von Positionen und Geschwindigkeiten.</li> <li>• Messung von Beschleunigungen: Verschiedene Prinzipien zur Messung von Beschleunigungen. MEMS Sensoren. Kompass Sensoren. Drehratenmessung: Coriolis Kraft Prinzip und Sagnac Effekt; Kreiselkompass, Vibrationskreisel, MEMS Kreisel, Faserkreisel und Ringlaser.</li> <li>• Inertiale Messsysteme und inertielle Navigationssysteme: Inertiale Messsysteme (IMU): Plattform und Strap-down Technologie, Gimbal-Lock, typische Fehler. Inertiale Navigationssysteme (INS); Arten der Stützung: Zero Update, Magnetfeld, GNSS (GPS): lose, enge und sehr enge Kopplung. Satelliten-Navigations Systeme wie GPS, Glonass, Galileo.</li> <li>• Externe Sensoren: Landmarken Navigation: Natürliche und künstliche Landmarken. Leuchttürme, Funkfeuer, VOR und DME. Hyperbelnavigation und coastal Navigation. Kraft-Momenten-Sensor, 3D-Space Mouse, Taktile Sensoren, Näherungssensoren</li> <li>• Abstandsgebende Sensoren auf Basis Laufzeitmessung: Prinzip der Laufzeitmessung: Ultraschallsensoren, Radar und Lidar</li> <li>• Bildgebende Sensoren: Video- und Infrarotkameras, HD (hochauflösende) 3D Lidarsysteme, optische time-of-flight Kameras. Grundlagen der Modellierung, Abbildungsgleichungen, homogene Koordinaten.</li> <li>• Weiterführende Themen: Sensor-Timing, -Synchronisation und -Fusion. Out-of-sequence Messung.</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Everett H.R.: Sensors for Mobile Robots. Wellesley: Peters, 1995.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 75 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
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 über einfache Sensoren und bzw. über komplexe Sensorplattformen 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.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Eric Jägler	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 LRT (insb. Vorlesung Werkstoffkunde)

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden gewinnen einen Einblick in das Materialverhalten von modernen metallischen und Verbundwerkstoffen sowohl unter monotoner als auch unter schwingender Belastung und bei erhöhten Temperaturen.</li> <li>• Sie lernen, mittels bruchmechanischer Hilfsmittel die Grenzen der Einsetzbarkeit von Werkstoffen zu bewerten und die Lebensdauer von rissbehafteten Bauteilen abzuschätzen.</li> <li>• Sie lernen die verschiedenen Arten des Werkstoffversagens unter zyklischer Belastung (Ermüdung) sowie deren theoretische Beschreibung kennen.</li> <li>• Sie lernen die Mechanismen der zeitabhängigen plastischen Verformung bei erhöhten Temperaturen kennen und werden befähigt, die Zeitstandsfähigkeit zu berechnen.</li> <li>• Sie kennen die Methoden des Werkstoffdesigns zur Verbesserung der Bruchzähigkeit, des Ermüdungsverhaltens und der Zeitstandsfähigkeit bei hohen Temperaturen.</li> </ul>

Inhalt
<p>1. Statische Beanspruchung: Bruchmechanik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Linearelastische Bruchmechanik (LEBM), Spröbruch (Grundlagen, Grenzen der LEBM, R-Kurven-Konzept, Risszähigkeit)</li> <li>• Fließbruchmechanik (Kleinbereichsfließen, COD-Konzept, J-Integral)</li> <li>• Experimentelle Untersuchung des Bruchverhaltens</li> </ul>

- Bruchzähigkeit technischer Werkstoffe (Metalle, Polymere, Keramiken, Verbundwerkstoffen) und Mechanismen zur Steigerung der Bruchzähigkeit)

## 2. Dynamische Beanspruchung: Ermüdung

- Grundlagen der Materialermüdung (Phänomenologie der Ermüdung und der Versagensarten, Rissbildung und -Wachstum, Restbruch, Zyklischer Spannungsintensitätsfaktor)
- Ermittlung der Gesamtlebensdauer und Bauteilauslegung
- Experimentelle Untersuchung der Materialermüdung
- Ermüdung technischer Werkstoffe (Leichtmetalle, Faserverbundwerkstoffe, Metall-Polymer-Verbunde) und Maßnahmen zur Steigerung der Lebensdauer

## 3. Zeitabhängiges Versagen bei hohen Temperaturen: Kriechen

- Empirische Beschreibung, Larson-Miller-Parameter
- Verschiedene Mechanismen des statischen Kriechens
- Hochtemperaturwerkstoffe und Maßnahmen zur Steigerung der Kriechbeständigkeit

### Literatur

- Rösler, Harders, Bäker: Mechanisches Verhalten der Werkstoffe. Springer Verlag, 6. Auflage, 2019
- Courtney: Mechanical Behaviour of Materials. Waveland Press, 2. Auflage, 2005
- Gross, Selig: Bruchmechanik. Springer Verlag, 6. Auflage, 2016
- Suresh: Fatigue of materials. Cambridge University Press, 2. Auflage, 1998

### 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 und in Hochtemperaturanwendungen einsetzen.

### Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
<b>Strukturdynamik</b>	1089

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Pflicht	3

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
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden kennen die wesentlichen Verfahren zur Lösung der klassischen Schwingungsgleichungen für Strukturen mit kleiner Dämpfung und einer beliebigen Zahl von Freiheitsgraden.</li> <li>Die Studierenden können mit den Begriffen "Eigenfrequenz", "Eigenform", "Modale Masse", "Modale Steifigkeit", und "Modale Dämpfung" umgehen. Sie wissen, Aufgabenstellungen in "Frequenzbereich" bzw. "Zeitbereich" einzuordnen.</li> <li>Die Studierenden kennen den Unterschied zwischen einer analytischen und einer numerischen Lösung der Schwingungsgleichung und können die zugehörigen Verfahren einsetzen.</li> <li>Sie sind in der Lage, für ein gegebenes physikalisches Problem ein geeignetes mathematisches Ersatzmodell zu erstellen und dieses mit geeigneten Methoden zu lösen.</li> <li>Die Studierenden können für einfache Aufgabenstellungen geeignete Näherungsverfahren einsetzen, um schnell erste Aussagen bzgl. des dynamischen Verhaltens von Strukturen machen zu können.</li> </ul>

Inhalt
<p>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.</p> <p>Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erzwungene Schwingungen von Masse-Feder-Systemen mit einem FHG</li> </ul>

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.



<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>Verwendbarkeit</b>
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.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Lars Zigan	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

#### Empfohlene Voraussetzungen

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

#### Qualifikationsziele

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

#### Inhalt

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

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

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

**Leistungsnachweis**

Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

**Verwendbarkeit**

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

**Dauer und Häufigkeit**

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

Modulname	Modulnummer
<b>Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung</b>	1092

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Mag. Dr. habil. Thomas Pany	Pflicht	3

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10921	VL	Sichere Satellitennavigation	Pflicht	2
10922	UE	Sichere Satellitennavigation	Pflicht	1
10923	VL	Weltraumwetter und Schwerefeld	Pflicht	1
10924	UE	Weltraumwetter und Schwerefeld	Pflicht	2
34172	VÜ	Einführung in Space Communications	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>8</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Raumfahrttechnik, Satellitennavigation, Grundlagen der Elektrotechnik, Messtechnik

## Qualifikationsziele

Die Veranstaltung hat drei Kapitel der Weltraumnutzung zum Inhalt. Die erste Teilveranstaltung bespricht sichere GNSS- und Navigationsanwendungen, wie sie auch für die Luftfahrt und Raumfahrt von Bedeutung sind, sowie die Satellitentechnik und den Aufbau des Bodensegmentes bei Galileo. Kryptographische Grundlagen und Funktionsweisen der Zugriffskontrolle in der Satellitennavigation werden dargelegt. In der zweiten Teilveranstaltung wird der Einfluss der Erdatmosphäre auf Weltraumanwendungen wie Navigation und Kommunikation besprochen, sowie die grundlegenden Verfahren und die wichtigsten Missionen der weltraumgestützten Erdschwerefeldbestimmung. In der dritten Teilveranstaltung erhalten die Studierenden Grundkenntnisse über Systeme und Techniken zu Informationsübertragung im Allgemeinen sowie unter besonderem Bezug zu den Ausbreitungsbedingungen bei der weltraumgestützten Kommunikation. Zu diesem Zweck werden Grundkenntnisse über die Funktionsweise von Antennen, über die Ausbreitung der elektromagnetischen Welle im Freien Raum sowie über Methoden der Signalerzeugung und Signalformung für die Informationsübertragung unter effizienter Ressourcenausnutzung vermittelt.

## Inhalt

- 1) Sichere Satellitennavigation
- Wissen über den Einsatz von GNSS innerhalb verschiedener Flugphasen
  - Kenntnis über die Fehlersicherheit von GNSS und deren mathematischer Beschreibung. Erhöhung der Fehlersicherheit durch

empfängerinterne Verfahren (RAIM, ARAIM) oder lokale Ergänzungssysteme (SBAS, GBAS).

- GNSS-Empfänger für die Raumfahrt und Stützung bei hochdynamischen Anwendungen
- Aufbau und Struktur Bodensegment bei Galileo, Aufbau Galileo-Satellit
- Kenntnis über die Zugriffskontrolle und Schlüsselverteilung bei GNSS und sinnvoller Nutzen von GPS Y/M, Galileo PRS.

## 2) Satellitenkommunikation

Zur Einführung in die Satellitenkommunikation (Space Communications) erlernen die Studierenden zunächst Grundlagen über Frequenzen und Orbits für die Satellitenkommunikation, Grundlagen der Orbitmechanik und Verfahren des Manövrierens von Objekten im All. Des Weiteren erlernen sie Nutzlastarchitekturen (transparent, regenerativ), Bent-Pipe (analog und digital) Netzarchitekturen: Punkt-zu-Punkt, broadcast, multicast, Sternnetze und volle Vermaschung. Schließlich werden sie mit Vielfachzugriffsverfahren (FDMA, CDMA, TDMA) und der nachrichtentechnischen Systembeschreibung der Satellitennutzlast und -bodenstationen vertraut gemacht. Die Studierenden erlernen des Weiteren die einfache Linkbudgetberechnung und Modellierung der Satellitenstrecke unter Berücksichtigung atmosphärischer Störungen und Wettereinflüsse (ITU-Modelle). Dabei erfahren sie, anhand von Beispielen militärischer und kommerzieller Satellitenkommunikationssysteme, einen Überblick über moderne Systeme zur Weltraumkommunikation in erdnahen und erdfernen Orbits (Deep Space Communications). Hierzu erlernen sie die Grundlagen der effizienten Signalformung unter den wichtigsten physikalischen Randbedingungen (Wellenausbreitung, begrenzte Sendeleistung, begrenztes Spektrum/limitierte Bandbreite) und werden in die wichtigsten Bewertungskriterien zum Vergleich solcher Verfahren eingeführt. Speziell für die Weltraumkommunikation wird ihnen die Funktionsweise von Antennen als Schnittstelle des Systems zum freien Raum vermittelt. Weiterhin erhalten sie eine Einführung in die Kommunikation zu bemannten Raumfahrtssystemen, Grundlagen digitaler Satellitennutzlasten und digitaler Signalverarbeitung im Orbit.

## 3) Weltraumwetter und Schwerfeld

- Die Sonne als Antrieb für das Weltraumwetter (Phänomene und Überwachung)
- Die Ionosphäre (Aufbau, Phänomene und Beobachtung unter bes. Berücksichtigung der GNSS-basierten Datenverarbeitung)
- Bedeutung des Weltraumwetters für Satellitensysteme und Bodeninfrastruktur auf der Erde
- Systemtechnische Aspekte und Auswirkungen des Weltraumwetters auf fliegendes Personal
- Methodik und Missionen der Schwerfeldbestimmung der Erde
- Bestimmung der Orientierung der Erde als Grundlage für Raumfahrtmissionen

## Literatur

- P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), "Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems", Springer 2017.

<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein - die genaue Form des Leistungsnachweises wird am Anfang des Moduls bekannt gegeben.
<b>Verwendbarkeit</b>
Vervollständigung des Grundwissens der Weltraumnutzung im Bereich Satellitenkommunikation, Weltraumwetter und Schwerefeldbestimmung, um zusammen mit den hier vermittelten Spezialkenntnissen der Navigation und den Vorlesungen zur Erdbeobachtung die erdbezogenen Weltraumtechniken anzuwenden und weiterentwickeln zu können.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert zwei Trimester, es findet im 3. (HT) und 4. (WT) Trimester statt. Die Prüfung ist am Ende des 4. Trimesters.

Modulname	Modulnummer
Satellitennavigation	1094

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Mag. Dr. habil. Thomas Pany	Pflicht	2

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10941	VL	Globale Satellitennavigationssysteme	Pflicht	2
10942	UE	Globale Satellitennavigationssysteme	Pflicht	2
10943	VL	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	1
10944	UE	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	1
10945	VL	Integrierte Navigation	Pflicht	2
10946	UE	Integrierte Navigation	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>10</b>

## Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik, Experimentalphysik, Messtechnik, Regelungstechnik, Programmierung.

## Qualifikationsziele

Globale Satellitennavigation ist gemessen an der Zahl der Nutzer die erfolgreichste Weltraumanwendung. Zahlreiche zivile und militärische Anwendungen hängen davon ab. Differentielle Verfahren erlauben eine Genauigkeit von bis zu wenigen Zentimetern und die Kopplung mit anderen Sensoren, sogenannte integrierte Navigation, erhöht die Robustheit. Die Veranstaltung hat folgende Qualifikationsziele:

- Die Absolventen besitzen einen Überblick über globale Satellitennavigationssysteme (GNSS), sowohl über die wichtigen Grundlagen, über die Systemarchitektur und die Systemgliederung (Segmente), als auch über die zivilen und militärischen Einsatzgebiete.
- Sie verstehen die Funktionsweise der Signalverarbeitung und der Positionierung und kennen die Verwundbarkeit von GNSS.
- 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 "Differentielle GNSS-Verfahren" verstehen sie die Datenverarbeitung, Algorithmik sowie das Fehlerbudget der differentiellen GNSS-Technik und kennen ihre Anwendungen im zivilen und militärischen Bereich.

- Sie haben Kenntnisse über integrierte Navigationssysteme, deren Vorteile und können sie entsprechend auslegen. Sie kennen die dafür erforderlichen Sensortechnologien, insbesondere für Beschleunigungs- und Drehratenmesser.
- Sie verstehen das Zusammenwirken der verschiedenen Messwerte in einem integrierten System und die Rechengänge des Kalman-Filters.
- Sie verstehen die Strapdown-Rechnung der Inertialnavigation (INS) und können ein einfaches gekoppeltes GNSS/INS selbstständig in MATLAB umsetzen.

## Inhalt

### 1) Globale Satellitennavigationssysteme (GNSS)

- Referenzsysteme, Zeitsysteme, Satellitenorbits, Aufbau eines GNSS
- Gegenwärtige Satellitennavigationssysteme: GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou
- Messverfahren (Akquisition und Verfolgung von GNSS-Signalen)
- Positionsbestimmung über Ausgleichung
- Genauigkeit, Verfügbarkeit, Integrität und Kontinuität
- Link-Budget, Verwundbarkeit von GNSS (Jamming/Spoofing)

### 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) Integrierte Navigation

- Systemkonzept der Integrierten Navigation
- Sensoren und Messwerte der Navigation
- Kalman Filter: allgemein und erweiterter Kalmanfilter für GNSS/INS Integration
- Strapdown-Rechnung
- GNSS/INS-Integration 2D und 3D
- GNSS/INS-Fehlerrechnung und Systemauslegung

## Literatur

Den Studierenden stehen die Powerpoint-Folien, für Teil 1 und 3 ein Vorlesungsskriptum und MATLAB-Kode zur Verfügung. Als optionale Literatur wird empfohlen:

- P. Misra, P. Enge, „Global Positioning System; Signals, Measurements, and Performance“, 2nd Edition, Ganga-Jamuna Press, 2006.



<ul style="list-style-type: none"> <li>• K. Borre et al., „A software-defined GPS and Galileo receiver; a single frequency approach“, Birkhäuser, 2007.</li> <li>• H. Dodel, D. Häupler, „Die Satellitennavigation“, Springer Berlin Heidelberg, 2009.</li> <li>• K. Wendel, „Integrierte Navigationssysteme: Sensordatenfusion, GPS und Inertiale Navigation“, Walter de Gruyter, 2011.</li> <li>• E. Kaplan, C. Hegarty, “Understanding GPS: principles and applications”, Artech house, 2005.</li> <li>• B. Hofmann-Wellenhof, K. Legat, M. Wieser, “Navigation: principles of positioning and guidance”, Springer Science &amp; Business Media, 2011.</li> <li>• P. Groves, “Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems”, Artech-House, 2013.</li> <li>• P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), „Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems“, Springer 2017.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein - die genaue Form des Leistungsnachweises wird am Anfang des Moduls bekannt gegeben.
<b>Verwendbarkeit</b>
Erweiterung des Grundwissens im Gebiet "Satellitennavigation" 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 zwei Trimester, es findet im Frühjahrs- und Herbsttrimester statt. Die Prüfung ist am Ende des 3. Trimesters.

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

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Pflicht	3

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
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermittlung von Kenntnissen über Grundlagen der Entwicklungsmethodiken in den Ingenieurwissenschaften</li> <li>• Erlernen einer methodischen, zielgerichteten Arbeitsweise zur Entwicklung technischer Systeme</li> <li>• Neben der Vorstellung der Methoden werden Kenntnisse über geeignete Hilfsmittel und Werkzeuge zur Lösungsfindung bereitgestellt, die anhand praxisnaher Beispiele angewendet werden</li> <li>• Die Lehrveranstaltung soll einen Überblick über die vielfältigen Möglichkeiten der Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung und deren Grenzen aufzeigen</li> </ul>
Inhalt
<p>Allgemeine Betrachtung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivation; Bedeutung und Aufgabenfelder der Produktentwicklung</li> <li>• Einordnung der Produktentwicklung in Markt/Unternehmen/Gesellschaft</li> <li>• Systemtheoretische Ansätze zur Beschreibung technischer Systeme</li> <li>• Integrierte Produktentwicklung</li> </ul> <p>Prozessgestaltung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strukturierung von Entwicklungsprozessen: operative und strategische Vorgehensmodelle</li> <li>• Prozessgestaltung für interdisziplinäre Entwicklungsaufgaben</li> <li>• Darstellung der Phasen und Beschreibung der typischen Handlungen im Produktentwicklungsprozess an einem Beispiel</li> </ul>

**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.

**Leistungsnachweis**

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.

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

Die zweite Wiederholungsprüfung kann seitens des Dozenten als mündliche Prüfung (Dauer: 30 Minuten) abgehalten werden.

**Verwendbarkeit**

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.

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Orbitmechanik und Missionsanalyse</b>	1461

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roger Förstner	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14611	VL	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	2
14612	UE	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in Höherer Mathematik.

#### 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 Grundlagender Störungstheorie werden am Beispiel erdnaher und geostationärer Bahnen behandelt; ebenso wichtige Berechnungsmethoden und missionstechnische Konzepte, wie die „Einflussphäre“, „Patched Conics“ Methode und „Gravity Assist“ Manöver, die beim interplanetaren Bahntransfer Anwendung finden. Die Vorlesung gliedert sich in:

- Bezugssysteme und Zeitreferenz

<ul style="list-style-type: none"><li>• Keplerbahn, Bahnelemente, Bahnübergänge</li><li>• Bestimmung von Satellitenbahnen</li><li>• Bahnstörungen</li><li>• Spezielle Satellitenbahnen</li><li>• Interplanetare Bahnen</li><li>• Interplanetarer Transfer</li></ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Curtis: Orbital Mechanics for Engineering Students</li><li>• Steiner, Schagerl: Raumflugmechanik</li><li>• Messerschmid, Fasoulas: Raumfahrtsysteme</li><li>• Ley, Wittman, Hallmann: Handbuch der Raumfahrttechnik</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: Formelsammlung, Taschenrechner</li></ul>
<b>Verwendbarkeit</b>
Voraussetzung sowohl für wissenschaftliche Grundlagenforschung als auch angewandter Entwicklung im Bereich der Missionsanalyse und Bahnoptimierung für Raumfahrtmissionen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Additive Fertigung	1550

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Eric Jägle	Wahlpflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15501	VÜ	Additive Fertigung	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse aus den Modulen Werkstoffkunde, Moderne Strukturwerkstoffe, Technische Mechanik, Maschinenelemente und Leichtbau.

Qualifikationsziele
<p>Nach Bestehen dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>wesentliche additive Fertigungsverfahren zu nennen sowie deren Funktionsweise und Besonderheiten zu erklären.</li> <li>relevante Werkstoffe für die additive Fertigung aufzuzählen, deren wesentliche Eigenschaften zu erläutern.</li> <li>die Entstehung typischer Werkstoffdefekte auf Grundlage der Mikrostrukturentstehung zu erklären und hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu bewerten.</li> <li>geeignete Werkstoffe für verschiedene Anwendungsszenarien zu bewerten und auszuwählen.</li> <li>den Entwicklungsprozess zu beschreiben, Gestaltungsmöglichkeiten und -richtlinien anhand einfacher Beispiele anzuwenden sowie die wesentlichen Unterschiede zu klassischen Fertigungsverfahren zu erklären.</li> <li>das Vorgehen in Bezug auf die Strukturberechnung und insbesondere der Topologieoptimierung darzustellen.</li> </ul>

Inhalt
<p>Die folgenden Inhalte werden innerhalb des Moduls behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Grundbegriffe und Motivation</li> <li>Überblick über eingesetzte/nutzbare Werkstoffe             <ul style="list-style-type: none"> <li>Metalle für die additive Fertigung</li> <li>Polymere für die additive Fertigung</li> <li>Ausblick auf andere Werkstoffklassen (Keramik, Verbundwerkstoffe)</li> </ul> </li> </ul>

- Der Werkstoff im Fertigungsprozess
  - Mikrostrukturentstehung
  - Prozesstypische Defekte
- Überblick über Fertigungsverfahren
  - Klassifizierung und Einordnung der Verfahren
  - Prozessabläufe
  - Fertigungsdaten
  - Parameterentwicklung
- Entwicklungsprozess & Gestaltung
  - Prozessüberblick
  - Gestaltungsmöglichkeiten und -richtlinien
  - Fertigungsgerechtes Konstruieren
  - Berechnung & Topologieoptimierung
  - Industrie 4.0
- Qualitätssicherung & Reverse Engineering

#### Literatur

Gebhart, A.: Additive Fertigungsverfahren. Hanser, 5. Auflage 2016

#### Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung, 30 Minuten, schriftliche Prüfung 60 Minuten oder benoteter Teilnahmeschein.

#### Verwendbarkeit

Das Modul liefert das notwendige Basiswissen zur Gestaltung von Bauteilen für die additive Fertigung, die Auswahl passender Werkstoffe und Fertigungsverfahren sowie die Kenntnisse wesentlicher Einsatzgebiete und Anwendungsszenarien.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.



Modulname	Modulnummer
Computational Fluid Dynamics I	3827

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

#### Empfohlene Voraussetzungen

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

#### Qualifikationsziele

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

#### Inhalt

- Beispiele von CFD Simulationen
- Gittergenerierung, Gitter und ihre Eigenschaften
- Behandlung inkompressibler Strömungen
- Behandlung kompressibler Strömungen
- Behandlung von turbulenten Strömungen (DNS, LES, DES, URANS, Turbulenzmodelle)
- Grundgleichungen der Fluidodynamik, Näherungen und mathematischer Charakter
- Finite Differenzen Methode
- Finite Volumen Methode
- Zeitintegrationsverfahren für instationäre Strömungen
- Eigenschaften finiter Approximationen
- Lösungsverfahren für lineare Gleichungssysteme
- Lösungsverfahren für die Navier-Stokes-Gleichungen inkompressibler Strömungen
- Randbedingungen

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

Modulname	Modulnummer
Computational Fluid Dynamics II	3828

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. (habil) Markus Klein	Wahlpflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38281	VL	Computational Fluid Dynamics II	Pflicht	2
38282	UE	Computational Fluid Dynamics II	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse in Numerischer Mathematik (entsprechend den Inhalten des Bachelor- und Master-Studiums). Vorlesung Computational Fluid Dynamics I.

Qualifikationsziele
Die Vorlesung "Computational Fluid Dynamics II" macht die Studenten vertraut mit fortgeschrittenen Themen der Strömungssimulation. Insbesondere werden Mehrphasen-, Überschall- und reaktive Strömungen behandelt sowie moderne Verfahren der Turbulenzmodellierung. Ein Ausblick auf Probleme mit gekoppelten physikalischen Mechanismen, wie Wärmübergang und Fluid-Struktur Interaktion, rundet die Vorlesung ab.

Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Large Eddy Simulation</li> <li>• Hybride RANS-LES Verfahren</li> <li>• Zweiphasenströmungen mit bewegter Phasengrenze</li> <li>• Partikelströmungen</li> <li>• Verbrennungsmodellierung</li> <li>• Überschallströmungen</li> <li>• Explosionen</li> <li>• Zukunftsthemen: Fluid-Struktur-Interaktion, Wechselseitiger Wärmeübergang, Lattice-Boltzmann Verfahren, Nicht-Newtonsche Fluide</li> </ul>

Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.</li> <li>• Poinot T., Veynante D.: Theoretical and Numerical Combustion, Edwards, 2007.</li> </ul>

- Tryggvason G., Scardovelli R., Zaleski S.: Direct Numerical Simulations of Gas-Liquid Multiphase Flows. Cambridge University Press, 2011.
- Lee, J.H.S.: The Detonation Phenomenon. Cambridge University Press, 2008.
- Laney, C.B.: Computational Gasdynamics. Cambridge University Press, 1998.

**Leistungsnachweis**

Notenschein - die genaue Form des Leistungsnachweises wird am Anfang des Moduls bekannt gegeben.

**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 Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Betriebsfestigkeit</b>	3845

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2022
-------	-------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
PD Dr. rer. nat. habil. Jürgen Bär	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38451	VL	Betriebsfestigkeit	Pflicht	2
38452	UE	Betriebsfestigkeit	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				4

Empfohlene Voraussetzungen
Es wird das Bachelor-Studium von LRT sowie das Modul statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen vorausgesetzt.
Qualifikationsziele
Den Studierenden wird das notwendige theoretische Wissen der in der Praxis angewendeten Konzepte der Betriebsfestigkeitsrechnung bzw. betriebsfesten Dimensionierung schwingbeanspruchter Bauteile vermittelt. Darüber hinaus erhalten die Studierenden Einblick in die Grundlagen und Anwendungen des experimentellen Betriebsfestigkeitsnachweises. Dadurch erlangen sie die fachliche und methodische Kompetenz, die in der Betriebsfestigkeit bereitgestellten Methoden der Lebensdauerberechnung zu bewerten, fallbezogen auszuwählen und in Kombination mit herkömmlichen Dimensionierungsverfahren anzuwenden sowie Versuche für den experimentellen Lebensdauernachweis zu konzipieren, durchzuführen und zu bewerten.
Inhalt
In diesem Modul erhalten die Studierenden eine Übersicht über experimentelle und rechnerische Methoden zur Vorhersage der Lebensdauer von Strukturwerkstoffen unter Betriebsbeanspruchungen. Die Vorlesung ist in zwei Teile, den rechnerischen und den experimentellen Betriebsfestigkeitsnachweis untergliedert.
Insbesondere werden Kenntnisse auf folgenden Gebieten vermittelt:
1. Rechnerischer Betriebsfestigkeitsnachweis
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ermüdungsverhalten metallischer Werkstoffe: Werkstoff- und Bauteilwöhlerlinie, Lebensdauerlinie, Kennwerte und Kennwertfunktionen der Beanspruchbarkeit für die Berechnung, statistische Beschreibung der Lebensdauer, Einflussgrößen in der Ermüdungsfestigkeit</li> </ul>

- Konzepte der Betriebsfestigkeitsrechnung: Nennspannungs-, örtliches und bruchmechanisches Konzept, FKM-Richtlinie

## 2. Experimenteller Betriebsfestigkeitsnachweis

- Versuchstechnik: Aktuatoren und Sensoren, Aufbau und Steuerung von Prüfanlagen, Umweltsimulation
- Anforderungsmanagement: Beanspruchungsermittlung, Zählverfahren, Beanspruchungsanalyse, Bemessungsarten, Konstruktionsprinzipien
- Versuchsmethodik: Methoden zur Ermittlung von Lebensdauerdaten, ein- und mehrachsige Versuche, schädigungsäquivalente Signalanpassung, Versuchszeitverkürzung
- Schadensanalyse: systematische Beurteilung von Schadensfällen, zerstörungsfreie Prüfverfahren, Structural Health Monitoring, prädiktive Instandhaltung
- Spezielle Probleme der Elektromobilität: Gefahrenpotential von Batterien, Störgeräusche, Herausforderungen in der Versuchstechnik

### Literatur

- Haibach E.: Betriebsfestigkeit . Verfahren und Daten zur Bauteilbewertung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989.
- Radaj D., Vormwald M.: Ermüdungsfestigkeit, Springer, 2007.
- Sander M.: Sicherheit und Betriebsfestigkeit von Maschinen und Anlagen, Springer, 2008.
- Köhler, M.: Zählverfahren und Lastannahme in der Betriebsfestigkeit, Springer, 2012
- Richard, H. A.; Sander, M.: Ermüdungsrisse, Springer Vieweg, 2012.
- Wächter M., Müller C.: Angewandter Betriebsfestigkeitsnachweis nach der FKM-Richtlinie, Springer, 2017.

### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

### Verwendbarkeit

Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für die Auslegung von mechanisch belasteten Bauteilen im Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik. Den Studierenden werden die notwendigen Kenntnisse vermittelt, um Lebensdauervorhersagen nach verschiedenen Konzepten durchzuführen, Restlebensdauern vorgeschädigter Bauteile zu ermitteln, sowie Inspektionsintervalle für einen sicheren Betrieb von Flugzeugstrukturen festzulegen. Darüber hinaus erlangen die Studierenden das notwendige Wissen um Versuche an Proben, Komponenten und kompletten Strukturen für den experimentellen Betriebsfestigkeitsnachweis zu konzipieren und durchzuführen.

### Dauer und Häufigkeit

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

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Pflicht	4

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
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden kennen die Einzelkomponenten von Faserverbundwerkstoffen und deren Eigenschaften. Sie wissen, wie diese Werkstoffkomponenten im Verbund zusammenwirken.</li> <li>2. Die Studierenden verstehen das Verhalten orthotroper und anisotroper Werkstoffe, sie können das Versagen solcher Werkstoffe an Hand von verschiedenen Bruchkriterien beurteilen.</li> <li>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.</li> <li>4. Die Studierenden kennen die Stärken, aber auch die Schwächen des Faserverbundwerkstoffes beim Einsatz in tragenden Strukturen.</li> <li>5. Die Studierenden wissen, wie Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen hergestellt werden können und welche fertigungsabhängigen Eigenschaften beachtet werden müssen.</li> </ol>

Inhalt
<p>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.</p> <p>Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:</p> <p>- Materialien</p>

Faserwerkstoffe,

Matrixwerkstoffe.

- Unidirektionalschicht (UD-Schicht)

Eigenschaften der UD-Schicht,

Werkstoffgesetz der UD-Schicht,

Matrixschrumpfung und Feuchteaufnahme.

- Mehrschichtverbunde (klassische Laminattheorie)

Transformation der UD-Schicht,

Werkstoffgesetz der geschichteten Platte,

Berechnung von Spannungen in den Einzellagen,

Schubspannungen infolge Querkraft der geschichteten Platte.

- Versagenskriterien

Maximale Spannung, maximale Dehnung,

Versagenkriterien von Hoffmann, Tsai-Wu, Puck.

- Berechnung von FVW-Strukturen

Auslegung und Optimierung von Laminaten,

Stabartige Elemente,

3D-Laminattheorie,

Krafteinleitungen (Bolzen, Schlaufen, Klebung).

- Hinweise zur Fertigung

#### Literatur

- Schürmann H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- Moser K.: Faser-Kunststoff-Verbund. Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1992.
- Puck A.: Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten. Carl Hanser Verlag: München, 1996.
- Tsai S.W., Hahn T.: Introduction to Composite Materials. Westport/Conn.: Technomic Publishing Company, 1980.



<ul style="list-style-type: none"> <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>
Schriftliche Prüfung 90 Minuten (30 Minuten Fragenteil ohne Hilfsmittel, 60 Minuten Aufgabenteil mit allen Hilfsmitteln) oder mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)
<b>Verwendbarkeit</b>
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.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Einführung in die Klebtechnik	1154

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
PD Dr.-Ing. habil. Jens Holtmannspötter	Wahlmodul	3

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 Fügeteilerflächen 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 Oberflächenvorbehandlung 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 Fügeteilwerkstoffe hochfest zu verbinden. Weitere Vorteile sind die spannungsarme Krafteinleitung und die Tatsache, dass im Vergleich zu anderen Fügeverfahren keine Fügeteilschädigung 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>

<p>der Klebtechnik, der Struktur von Oberflächen, der Oberflächenanalytik sowie zum Fügen von Metallen und Faserverbundwerkstoffen bearbeitet.</p> <p>Im Rahmen der Vorlesung werden folgende Themen vermittelt:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fügeverfahren, Randbedingungen, Vor- und Nachteile</li><li>• Chemie der Fügeteiloberfläche und Oberflächenanalytik</li><li>• Adhäsionsmodelle, Wechselwirkung Fügeteil / Klebstoff</li><li>• Bedeutung von klebtechnischen Oberflächenvorbehandlungsverfahren</li><li>• Physikalische und chemische Oberflächenvorbehandlungsverfahren</li><li>• Klebstoffe und Klebstoffauswahl</li><li>• Eigenschaften von Klebeverbindungen</li><li>• Berechnung von Klebeverbindungen</li><li>• Prüfung von Klebeverbindungen</li><li>• Fügen metallischer und polymerer Werkstoffe, Reparaturverfahren</li><li>• Anwendungen der Klebtechnik / Lehren aus klebtechnischen Schadensfällen</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul "Einführung in die Klebtechnik" liefert das notwendige Basiswissen für die Anwendung der strukturellen Klebtechnik im Leichtbau und bei Reparaturen.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Fahrzeugdynamik</b>	1161

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Lion	Wahlmodul	3

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 im 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.
- Mitschke M., Wallentowitz H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge. Springer Verlag, 2004.

- Schramm D., Hiller M., Bardini R.: Modellbildung und Simulation der Dynamik von Kraftfahrzeugen. Springer Verlag, 2010.

**Leistungsnachweis**

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

Minuten (ohne Hilfsmittel)

**Verwendbarkeit**

Masterarbeit auf dem Gebiet der Fahrzeugsimulation.

**Dauer und Häufigkeit**

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

Modulname	Modulnummer
Flugbahnoptimierung	1172

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts	Wahlmodul	2

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, Blockveranstaltung	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 (Sensitivitätsdifferentialgleichung, adjungierte Methode), Abhängigkeit von Parametern

<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 statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure</b>	1176

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
PD Dr. Stefan Sammito	Wahlmodul	3

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
- das Sehorgan und seine Funktion: Bedeutung der Augenheilkunde in der Flugmedizin
- Bedeutung der Hals-/Nasen-/Ohren-Heilkunde in der Flugmedizin
- der Bewegungsapparat und seine Funktion: Bedeutung des Teilbereiches Orthopädie in der Flugmedizin



<ul style="list-style-type: none"> <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 statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Maschinendynamik</b>	1191

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Lion	Wahlmodul	3

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

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>

#### Voraussetzungen laut Prüfungsordnung

Vorausgesetzt werden die Module „Technische Mechanik I und II“ und „Höhere Mathematik“.

#### 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 ausgewählte Grundbegriffe und ingenieurmäßige Methoden der Maschinendynamik.
- Die Studierenden sind in der Lage, Schwingungen von Maschinen zu verstehen.
- Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, einfache schwingungsfähige Systeme mathematisch/physikalisch zu modellieren, zu untersuchen, die Ergebnisse zu interpretieren und zu verstehen.

#### Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Maschinendynamik ausgewähltes Grundwissen sowie ingenieurmäßige Vorgehensweisen zum physikalischen Verständnis und zur Abschätzung bzw. Berechnung des dynamischen Verhaltens von einfachen Maschinen und Rotoren.

- Grundlagen, Physikalische und mathematische Modellbildung, Methoden zur Aufstellung der Bewegungsgleichungen nach Lagrange sowie zur Charakterisierung von Schwingungen.
- Schwingungsfähige Systeme mit einem und mehreren Freiheitsgraden, modale Eigenfrequenzen und modale Dämpfungen.
- Erzwungene Schwingungen und Resonanzphänomene, Anregungsarten, periodische Anregungen durch Massenkkräfte verschiedener Ordnung.
- Auswuchten und Massenausgleich von starren Rotoren.

- Methoden zur Schwingungsisolierung, Schwingungsdämpfer und Schwingungstilger, elastische Lagerung von Maschinen, Abschätzung der Eigendynamik bzw. der 1. Eigenfrequenz von Maschinenlagern.
- Grundlagen zum Verständnis der Dynamik biegeelastischer Rotoren mit Exzentrizität, Laval Rotoren mit starrer sowie mit anisotroper elastischer Lagerung, Aufstellung und Lösung der Bewegungsgleichungen, Selbstzentrierung und kritische Drehzahlen.

#### Literatur

Dresig, Holzweißig: Maschinendynamik, Springer Verlag

Sachau, Brommundt: Schwingungslehre mit Maschinendynamik, Teubner Verlag

Irretier: Grundlagen der Schwingungstechnik Band 1 und 2, Springer Verlag

Hollburg: Maschinendynamik, Oldenbourg Verlag

Gasch, Nordmann, Pfützner: Rotordynamik, Springer Verlag

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten

#### Verwendbarkeit

Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für angewandte Forschung und Entwicklung sowie für Masterarbeiten auf den entsprechenden Gebieten der Luft- und Raumfahrttechnik sowie des Maschinenbaus.

#### Dauer und Häufigkeit

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

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11941	VL	Nichtlineare Finite-Elemente-Methode Vorlesung	Pflicht	2
11942	P	Rechnerpraktikum Nichtlineare FEM	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Der Studierende benötigt Kenntnisse aus dem Modul Finite Elemente.
Qualifikationsziele
Die Studierenden können nach dem erfolgreichen Bestehen des Moduls nichtlineare Strukturprobleme analysieren und geeignete Lösungsstrategien anwenden. Sie sind in der Lage, die möglichen Ursachen der Nichtlinearitäten zu verstehen und adäquate Lösungsverfahren hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu bewerten und anzuwenden. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, eigenverantwortlich eine nichtlineare FE-Berechnung in Abhängigkeit der erwarteten Nichtlinearitäten durchzuführen und die Berechnungsergebnisse selbstständig zu reflektieren und zu bewerten.
Inhalt
<p>In diesem Modul erwerben die Studierenden umfassende Kenntnisse zur Lösung von Problemstellungen in der nichtlinearen Strukturmechanik.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sie erhalten eine grundlegende Einführung in die Ursachen von Nichtlinearitäten, deren Auswirkungen auf das Tragverhalten der Struktur.</li> <li>• Die Studierenden lernen anhand exemplarischer Beispiele die mathematische Struktur der Nichtlinearitäten kennen und werden detailliert mit adäquaten Lösungsverfahren, insbesondere dem Newton-Raphson-Verfahren, bekannt gemacht.</li> <li>• Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zu den kontaktbedingten und physikalischen Nichtlinearitäten.</li> <li>• Für geometrische Nichtlinearitäten erlangen die Studierenden einen grundlegenden Überblick.</li> <li>• In praktischen Übungen lernen die Studierenden den Umgang mit einem FE-Programm (z.B. Abaqus, Optistruct) und dessen Anwendung auf nichtlineare Aufgabenstellungen.</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 statt.

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. AkDir Michael Strohal	Wahlmodul	3

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

<p>Gesichtspunkte behandelt werden: Bestimmung der Flugzeugpolare, 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><b>Benoteter Schein</b></p> <p>Der Benotung setzt sich zusammen aus individuellen oder in Gruppenarbeit erstellten Auswertebereichten / -berichtsteilen der durchgeführten Flüge und einer mündlichen/schriftlichen Wissensabfrage.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitenbetrieb	1205

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Felix Huber	Wahlmodul	3

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>
Notenschein
<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 statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitenbetrieb Praxis	1206

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Felix Huber	Wahlmodul	4

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>				4

#### 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**

Notenschein

**Verwendbarkeit**

Systemdesign von Raumflugkörpern, Missionsplanung, Betrieb von Satelliten

**Dauer und Häufigkeit**

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

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. rer. nat. Andreas Brandl	Wahlmodul	3

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, Grundlagen der Wärme und Stoffübertragung.

#### 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
- Herleitung der Knotenmethode (lumped-parameter method) aus dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik
- Vorstellung von verschiedenen Methoden zur Lösung der Wärmeleitungsgleichung stationär und instationär
- Vergleich der Lösungen mit numerischen Verfahren
- Energieaustausch durch Strahlung: Strahlungsgesetze, thermo-optische Eigenschaften, 2-Band-Näherung des Strahlungsspektrum
- Sichtfaktoren und Strahlungsaustauschfaktoren zur Behandlung der Vielfachreflexion
- Wärmestrahlung in schwarzen und grauen Hohlräumen mit N-Flächen
- Numerische Verfahren zur Berechnung des Strahlungsaustausches
- Möglichkeiten der aktiven und passiven Thermalkontrolle (Coatings, MLI, SSM)
- Übersicht: Thermaltests von Satelliten
-

<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 Raumfahrtsystemen (bemannte und unbemannte Raumfahrt) sowie von Antrieben.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. habil. Gunther Reißig	Wahlmodul	4

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
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden verfügen über Techniken und Methoden zur weitgehend selbständigen Erschließung wissenschaftlicher Fachtexte.</li> <li>2. Die Studierenden sind in der Lage, komplexe fachliche Zusammenhänge korrekt, strukturiert und verständlich zu formulieren und in schriftlicher Form niederzulegen.</li> <li>3. Die Studierenden verfügen über Detailkenntnisse aus einem Teilgebiet der nichtlinearen Regelungstechnik, die es ihnen ermöglichen, spezielle Fragestellungen der nichtlinearen Regelungstechnik eigenständig zu untersuchen.</li> <li>4. Die Studierenden sind in der Lage, einen wissenschaftlichen Fachvortrag auszuarbeiten und in geeigneter Form vorzutragen.</li> <li>5. Die Studierenden sind in der Lage, aktiv an einer fachlichen Diskussion teilzunehmen, in der sie ihre Thesen erläutern und ggf. verteidigen.</li> </ol>

Inhalt
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen nichtlinearer Regelungssysteme</li> <li>• Stabilitätsfragen, z.B. Abschätzung von Einzugsbereichen</li> <li>• Ereignisdiskrete Regelungen</li> <li>• Hybride und abstraktionsbasierte Regelungen</li> <li>• Anwendung spezieller Optimierungsverfahren auf regelungstechnische Probleme</li> </ul>

Literatur
Wird jeweils zu Beginn des Moduls bekanntgegeben und i.d.R. vom Dozenten gestellt.
Leistungsnachweis
Notenschein
Verwendbarkeit
Voraussetzung für spätere eigenständige Untersuchungen von theoretischen und angewandten Fragestellungen der nichtlinearen Regelungstechnik, z.B. im Rahmen studentischer Abschlußarbeiten.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Praktikum Optimale Steuerung	1355

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Matthias Gerdts	Wahlmodul	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
13551	VL	Optimale Steuerung - Praktikum	Pflicht	1
13552	UE	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 (Quadcopter) und Fahrzeugen.  
Das Modul besteht aus einem kurzen Vorlesungsteil und einem Praxisteil zur praktischen Umsetzung des Vorlesungsinhalts.  
Inhalt der Vorlesungen:

- Grundlagen der optimalen Steuerung, Modellierung, Transformationstechniken
- Einführung in numerische Lösungsverfahren für Optimalsteuerungsprobleme, insbesondere Diskretisierungsverfahren
- Einfache Regelungsstrategien



Inhalt des Praxisteils: <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 Quadrocoptern. 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 statt.

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Johlitz	Wahlmodul	3

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**

- Einführung und Einteilung der Materialklassen
- Umsetzung, Durchführung und Auswertung von Experimenten (Zugversuch, Scherversuch, Kompressionsversuch, Thermisch-mechanische Analyse)
- Grundlagen der Materialmodellierung (Elastizität, Viskoelastizität, Plastizität und Schädigung)
- Numerische Umsetzung der Materialgleichungen
- Identifikation von eingeführten Modellparametern
- Simulation und Verifikation von Modellen anhand von Experimenten

**Literatur**

- Johlitz: Materialmodellierung, Vorlesungsskript der Universität des Saarlandes (2009)
- Lion: Einführung in die lineare Viskoelastizität, Vorlesungsskript der UniBw München (2007)

<ul style="list-style-type: none"><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 statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Produkt- und Innovationsmanagement</b>	1424

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Wahlmodul	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14241	VL	Produkt- und Innovationsmanagement	Pflicht	4
14242	UE	Produkt- und Innovationsmanagement	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>6</b>

#### Qualifikationsziele

- 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.
- 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.
- Sie erlernen ein breites Methodenspektrum, um Situationen im Entwicklungsmanagement einschätzen und adäquat agieren zu können.
- Sie erhalten damit die Basis, um neue Erfahrungen und Wissen aus der Praxis einzuordnen.

#### Inhalt

##### **Vorlesungsinhalte:**

##### Motivation und Einführung

- Einordnung des Entwicklungsmanagement in Unternehmensaktivitäten
- Analyse der Randbedingungen aus Markt und Gesellschaft

##### Betrachtungen zum Produktmanagement

- 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

#### Übungsinhalte:

Diskussion der in der Vorlesung erarbeiteten Inhalte anhand von Fallbeispielen

#### Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung mit 90 Minuten Dauer oder mündliche Prüfung mit 30 Minuten Dauer am Ende des Wintertrimesters. Die Art der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

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

Die zweite Wiederholungsprüfung kann seitens des Dozenten als mündliche Prüfung abgehalten werden.

#### Verwendbarkeit

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

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt. Das Modul wird bei LRT als Wahlmodul, bei CAE als Pflichtmodul angeboten.

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Honorarprofessor Dr.-Ing. Johann Bals	Wahlmodul	4

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
<p>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.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung, Anwendungsbeispiele aus Luft- und Raumfahrt, Robotik und Mechatronik</li> <li>• Grundelemente der Modelica-Sprache, Objektdiagramme</li> <li>• Mathematische Beschreibung kontinuierlicher Systeme (differential- algebraische Gleichungen)</li> <li>• Unstetige und strukturvariable Systeme</li> <li>• Modellbibliotheken</li> </ul>

- 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 Wintertrimester statt.

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Araújo Reinaldo Gomes	Wahlmodul	4

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
Im Modul werden den Studierenden grundlegende und Detailkenntnisse in Wärmebelastungen und Kühlkonzepte in Gasturbinen und Flugtriebwerke vermittelt. Darunter gehören: <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> <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 statt.

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

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Sander	Wahlmodul	4

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/Thermofluidynamik	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/ Thermofluidynamik“ 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: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunächst werden wesentliche Grundlagen zur Optik wiederholt und in den Bereichen vertieft, die eine besondere Bedeutung für das Verständnis der Lehrinhalte besitzen.</li> <li>• Anschließend werden die für optische Messverfahren eingesetzten Komponenten anhand deren Funktionsweise erklärt und ähnliche Gerätetypen hinsichtlich deren bevorzugten Einsatzbereichs gegeneinander abgegrenzt.</li> <li>• Den Abschluss bildet die Beschreibung gängiger optischer Messverfahren. Dabei wird das zugrundeliegende physikalische Prinzip erklärt und der mögliche praktische</li> </ul>

<p>Einsatzbereich erläutert. Ferner werden typische Messaufbauten gezeigt, die mit den bereits behandelten Komponenten realisiert werden können.</p> <ul style="list-style-type: none"> <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>
<p>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.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Fernflugkörper	1516

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Markus Schiller	Wahlmodul	4

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.

#### Leistungsnachweis

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 statt.

Modulname	Modulnummer
Auslandsaufenthalt	1519

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
N.N.	Zusatzfach	0

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

Modulname	Modulnummer
Munich Aerospace	1520

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
N.N.	Wahlmodul	0

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

Modulname	Modulnummer
<b>Werkstoffe für militärische Anwendungen</b>	1895

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. rer. nat. Matthias Bleckmann	Wahlmodul	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18951	VÜ	Werkstoffe für militärische Anwendungen	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse in Werkstoffkunde.

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden Werkstoffe für bestimmte militärische Anwendungen benennen und deren Einsatzzweck und Funktion erläutern.</li> <li>Die Studierenden können für vorgegebene Anwendungsbereiche geeignete Werkstoffe auswählen und wesentliche Anforderungen in Bezug auf die Gestaltung wiedergeben.</li> <li>Die Studierenden können die wesentlichen Auswahlkriterien für Werkstoffe in den Anwendungsfeldern "Schutz", "Wirkung" und "Radartarnung" aufzählen sowie Beispiele aus aktuellen Anwendungen benennen.</li> <li>Die Studierenden können die Wirkungsweisen von Werkstoffen für Schutzsysteme, Munitionsanwendungen und Radartarnung erklären und für vorgegebene Einsatzgebiete geeignete Werkstoffe auswählen.</li> <li>Darüber hinaus werden die Studierenden in die Lage versetzt, unter Berücksichtigung der Anforderungen der jeweiligen Anwendung neue Werkstoffe und Werkstoffverbünde bzw. die entsprechenden Kennwerte und deren Messweise zu beurteilen.</li> </ul>

Inhalt
<p>In der militärischen Anwendung werden häufig Werkstoffe verwendet, die in der zivilen Nutzung nicht oder nur eingeschränkt von Interesse sind. Im Modul Werkstoffe für militärische Anwendungen sollen die Grundlagen und wichtigen Materialkennwerte dieser Werkstoffe vorgestellt und beschrieben werden. Im Rahmen der Vorlesung werden folgende Themen vermittelt:</p> <p>1. Grundsätzliches zu Werkstoffen für militärische Anwendungen und deren spezifische Einsatzgebiete</p>



<p>2. Schutzanwendungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen an Werkstoffe für Schutzanwendungen und Mechanismen bei hochdynamischer Einwirkung</li> <li>• Werkstoffe für Schutzanwendungen, Metalle, Keramiken</li> <li>• Verbundwerkstoffe für Schutzanwendungen</li> </ul> <p>3. Wirkanwendungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen an Werkstoffe für Wirkanwendungen und deren physikalischer Hintergrund</li> <li>• Werkstoffe für Wirkanwendungen (Penetratoren, Hohlladungsliner, Treibkäfige)</li> <li>• Neue Fertigungsverfahren für Wirkanwendungen</li> </ul> <p>4. Radartarnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wirkungsweise und physikalischer Hintergrund von Radartarnmaterialien</li> <li>• Werkstoffe für Radartarnmaterialien und deren Herstellung</li> <li>• Neue Fertigungsverfahren für Radartarnmaterialien</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul Werkstoffe für militärische Anwendungen liefert das notwendige Basiswissen für den Einsatz, die Verwendung und das grundlegende Verständnis von speziellen Werkstoffen und Werkstoffverbänden in den Bereichen Schutz, Wirkung und Radartarnung.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen</b>	1896

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Jane Jean Kiam	Wahlmodul	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18961	VL	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen	Pflicht	1
18962	UE	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Erste Programmiererfahrungen

Qualifikationsziele

- Die Studenten gewinnen einen Einblick in das interdisziplinäre Zusammenspiel von Faktoren, die das Fügeverfahren "Kleben" bestimmen.
- Vor dem Hintergrund von Leichtbauanwendungen mit metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen der Luft- und Raumfahrt, lernen sie die Wechselwirkung zwischen Fügeoberflächen und Klebstoff zu verstehen. Zusätzlich werden die Grundlagen für das Realisieren einer klebgerechten Konstruktion vermittelt.
- Die Studierenden kennen nach erfolgreichem Bestehen des Moduls die Verfahren zur klebtechnischen Oberflächenvorbehandlung der verschiedenen Werkstoffe, die Anwendungsbereiche für unterschiedliche polymere Klebstoffe sowie die beim Kleben zu berücksichtigende Belastungen (Klima, Medien, Kräfte).
- 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.

Inhalt

Das Modul besteht aus der Vorlesung "Angewandte Künstliche Intelligenz (KI)" und den dazugehörigen Übungen (konzeptioneller Entwurf von Algorithmen und deren Implementation einschließlich elementarer Programmieraufgaben).

In der Vorlesung wird Grundwissen über die folgenden KI-Ansätze zur Entscheidungsunterstützung vermittelt:

1. Grundlegende Suchalgorithmen, z.B. Dijkstra, A\*, Hill Climbing, evolutionäre Algorithmen
2. Grundlagen der Logik, Semantik und Ontologie:
  - Grundlagen der Logik (z.B. Logik erster Stufe, Prädikatenlogik, Aussagenlogik)
  - Wissensrepräsentation
3. Probabilistische Ansätze, z.B. Bayessche Netze, Markov Entscheidungsprozesse
4. Planung bei Unsicherheiten
  - Partiiell beobachtbare Umgebungen
  - Planung und Umplanung
5. Grundlagen Maschinelles Lernen, z.B. überwachtes Lernen ("Supervised Learning"), nicht überwachtes Lernen ("Unsupervised Learning"), verstärkendes Lernen ("Reinforcement Learning"), tiefes Lernen ("Deep Learning")
6. Ethische Aspekte, Stand der Technik, moderne Anwendungsbeispiele

Das erworbene Grundwissen wird in den Übungsstunden anhand konkreter Anwendungsbeispiele (insbesondere aus der Luftfahrt) sowie einfacher Programmieraufgaben vertieft.

#### Literatur

- Ghallab M., Nau D., Traverso P.: Automated Planning and Acting. Cambridge University Press, 2016.
- Russel S., Norvig P.: Artificial Intelligence - A Modern Approach. Pearson Education, 2015.
- Sutton R., Barto A.: Reinforcement Learning - An Introduction. Bradford Books, 2018.

#### Leistungsnachweis

Benoteter Schein:

Die Benotung setzt sich zusammen aus

- individuellen oder in Gruppenarbeit erstellten Berichten der Programmieraufgaben sowie einer
- mündlichen Kenntnisstandsabfrage

#### Verwendbarkeit

Es wird grundlegendes Fach- und Methodenwissen für die spätere wissenschaftliche Tätigkeit als Forscher oder Entwicklungsingenieur für KI-gestützte Systeme vermittelt. Das erworbene Wissen kann auch Voraussetzung für Masterarbeiten im Arbeitsbereich der Flug- und Missionssysteme sein, z.B. im Studienschwerpunkt "Flugführungssystem" (u.a.).

**Dauer und Häufigkeit**

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

Modulname	Modulnummer
Technische Verbrennung	1897

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Lars Zigan	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18971	VL	Technische Verbrennung	Pflicht	2
18972	UE	Technische Verbrennung	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

#### Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden die Module "Thermodynamik I/II - Grundlagen der Wärmeübertragung" sowie "Strömungslehre". Vorteilhaft sind Kenntnisse der Aerodynamik und Gasdynamik.

#### Qualifikationsziele

- Die Studierenden verfügen über vertiefte Fach- und Methodenkompetenzen im Bereich der Verbrennungstechnik, Verbrennungsmodellierung, Messtechnik, Schadstoffbildung und der technischen Anwendungen.
- Die Studierenden können unterschiedliche Flammentypen charakterisieren und realisierte technische Anwendungen hinsichtlich Wirkungsgrad und Schadstoffemissionen vergleichen und bewerten.
- Die Studierenden können die globale Verbrennung sowie einfache Flammen mit thermodynamischen Erhaltungsgleichungen beschreiben.
- Die Studierenden sind mit der interdisziplinären Arbeitsweise an der Schnittstelle von Strömungsmechanik, Thermodynamik und Reaktionstechnik vertraut.
- Die Studierenden haben Verständnis von Methoden der experimentellen und numerischen Verbrennungsanalyse.
- Die Studierenden verfügen über einen Überblick zum Stand der Forschung und Entwicklung auf einem aktuellen Themengebiet der Energietechnik.
- Die Studierenden sind mit den neusten Entwicklungen auf dem Gebiet der Verbrennungssysteme im technischen Bereich und in der Antriebstechnik (z.B. Fluggasturbinen, Raketen, Motoren) vertraut.

#### Inhalt

Die Verbrennung ist weltweit nach wie vor die wichtigste und meist genutzte Energieumwandlungstechnologie. Potentielle Umweltschäden und begrenzte Ressourcen fossiler Brennstoffe erfordern intensive Anstrengungen, um den Ablauf von Verbrennungsprozessen besser verstehen und damit den Prozess

<p>verbessern zu können, beispielsweise zur Entwicklung fortgeschrittener Brennverfahren in der Antriebstechnik, für Gasturbinen, Haushaltsfeuerungen, Industrie- und Prozessfeuerungen.</p> <p>Im Rahmen der Vorlesung werden folgende Themen vermittelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermodynamische Grundlagen (Konzentrationsbegriffe, Heizwerte, Flammentemperaturen, Erhaltungsgleichungen)</li> <li>• Wirkungsgrade (thermischer, exergetischer, feuerungstechnischer Wirkungsgrad)</li> <li>• Zündprozesse und Zündkennzahlen (Deflagration, Detonation, Explosion, Zündgrenzen, Zündtemperaturen, Zündverzugszeit, Löschabstand, etc.)</li> <li>• Kraftstoffe (flüssig, fest, gasförmig, neuartige synthetische und biogene Kraftstoffe) und verbrennungsrelevante Eigenschaften</li> <li>• Flammentypen (vorgemischt, teilvorgemischt, nicht-vorgemischt)</li> <li>• Laminare und turbulente Verbrennung, Turbulenzgrößen</li> <li>• Flammengeschwindigkeit, Flamme-Turbulenz-Interaktion, Borghi-Peters-Bereichsdiagramm, Flammenstabilität und Stabilisierungsmethoden</li> <li>• Verbrennungsmodellierung, Einführung in numerische Simulation von Strömungen mit Verbrennung</li> <li>• Schadstoffbildung (Stickoxide, Ruß, Kohlenmonoxid, Furane und Dioxine) und feuerungstechnische Maßnahmen zur Minimierung der Schadstoffemissionen</li> <li>• Verbrennung von flüssigen und festen Brennstoffen</li> <li>• Brennverfahren (Brennertypen, Gasturbinen, Motoren- und Raketenantriebe)</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Prüfung 60 Minuten oder mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Das Modul ist geeignet zur Anfertigung einer Masterarbeit auf dem Themengebiet der Verbrennungstechnik. Das erworbene Wissen ist Voraussetzung für angewandte Forschung und Entwicklung als auch den Systembetrieb in dem Themenbereich.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugzeugbau	3000

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. Jens Bold	Wahlmodul	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
30001	VÜ	Flugzeugbau	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse aus den Modulen Technische Mechanik, Leichtbau und Werkstoffe.

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können die Vorschriften benennen und das Vorgehen zur Ermittlung der Beanspruchungen der Gesamtstruktur erklären und an einfachen Beispielen anwenden
- Die Studierenden können die verschiedenen Theorien der Flächentragwerke benennen und deren Unterschiede aufzeigen.
- Die Studierenden können die Beanspruchungen der Gesamtstruktur benennen und die Unterschiede der Berechnungsmethoden erklären.
- Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden die wesentlichen strukturellen Baugruppen des Flugzeugs sowie deren wesentliche Funktionen und Auslegungskriterien benennen.

Inhalt

1. Vorschriften und Beanspruchungen
  1. Einleitung
  2. Werdegang eines Flugzeugs (Entwurf/Projektierung, Fachliche Abhängigkeiten, Zeitliche Abhängigkeiten/Entwicklungsphasen, Arbeitsumfang)
  3. Vorschriften und Sicherheit (Überblick über bestehende Vorschriften, Weiterentwicklung der Vorschriften, Hinweise auf spezielle Vorschriften)
  4. Beanspruchung eines Flugzeugs (Genereller Überblick, Böenlastvielfaches, Massenwirkung, Massenverteilung, Luftlasten)
  5. Aeroelastische Einflüsse (Allgemeines, Einteilung aeroelastischer Vorgänge, Vereinfachtes Beispiel für Divergenz)

<p>2. Flächentragwerke, Stabilität und Beanspruchung der Gesamtstruktur</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flächentragwerke (die Scheibe, die biegesteife Platte, die biegeschlaffe Platte oder Membran, die biegeweiche Platte, biegeschlaffe Schalen, Membranschalen, Biegetheorie der Kreiszylinderschale, Biegetheorie anderer Rotationsschalen)</li> <li>2. Stabilität (Stäbe und Balken, Schalen)</li> <li>3. Ermittlung der Beanspruchung für Gesamtstrukturen (Allgemein, Entwicklung der Berechnungsmethoden, Kraft- und Verformungsmethoden, Methoden der Finiten Elemente (FEM), Hinweise zur Idealisierung)</li> </ol> <p>3. Berechnung von Baugruppen</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Einleitung</li> <li>2. Großbaugruppen</li> <li>3. Flügel- und Leitwerksberechnung( Ausgangsdaten, Schnittgrößen, Baugruppen des Flügels und der Leitwerke, Hinweise zur Idealisierung)</li> <li>4. Rumpfberechnung (Ausgangsdaten, Schnittgrößen, Baugruppen des Rumpfes, Hinweise zur Idealisierung)</li> <li>5. Berechnung von Türen und Toren (Ausgangsdaten, Schnittgrößen, Baugruppen der Türe und Tore, Hinweise zur Idealisierung)</li> <li>6. Beanspruchung in Niet- und Bolzenverbindungen (Stebverbindungen unter Wirkung von Moment, Längs- und Querkraft, Gurtverbindungen (Laschen) unter Längskraft)</li> <li>7. Geklebte Verbindungen (Ausbildung von Klebeverbindungen, Einschnittige Überlappung unter Längskraft ohne Schälspannung, Einschnittige Überlappung unter Längskraft mit Schälspannung, Vergleich und Hinweise)</li> </ol>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Niu, Michael C.Y., Airframe stress analysis and sizing</li> <li>• Niu, Michael C.Y., Composite Airframe structures</li> <li>• Wiedemann, J.; Leichtbau - Elemente und Konstruktion</li> <li>• Pflüger, A., Stabilitätsprobleme der Elastostatik</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Mündliche Prüfung 30 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in Modulen aus den Bereichen Bauweisen und Werkstoffe.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.



Modulname	Modulnummer
<b>Die deutsche Raumfahrt - Bedeutung, Politik, Struktur</b>	3508

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

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

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	43	47	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
35081	VL	Die deutsche Raumfahrt – Bedeutung, Politik, Struktur	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>1</b>

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

Keine

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

1. Der/die Studierende hat Grundkenntnisse der verschiedenen Teilbereiche der deutschen Raumfahrt.
2. Der/die Studierende versteht ausgewählte politische Aspekte, welche der deutschen Raumfahrt zu Grunde liegen und kann diese international einordnen.
3. Der/die Studierende versteht die Besonderheiten der militärischen Weltraumnutzung in Deutschland.

Inhalt
--------

Den Studierenden wird die Komplexität der Raumfahrtbedingungen in Deutschland dargestellt. Neben der Verteilung der Raumfahrtaufgaben auf verschiedene Bundesressorts, wird der politische Rahmen gesteckt und die Einordnung in den internationalen Kontext vorgenommen. Es werden die bedeutendsten deutschen Raumfahrtprojekte aufgezeigt und ein Überblick über die Fähigkeiten der deutschen Raumfahrtindustrie gegeben.

Im Detail werden folgende Teilbereiche Thema der Vorlesungsreihe sein:

- Das DLR Raumfahrtmanagement als deutsche Raumfahrtagentur
- Die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung
- Weltraumrecht
- Die Aufteilung der Verantwortlichkeiten auf die deutschen Bundesressorts
- Die deutsche Raumfahrtindustrie
- Internationale Organisationen wie ESA und NASA

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die militärische Weltraumnutzung in Deutschland (Raumfahrtprojekte der Bundeswehr)</li> <li>• Digitalisierung und Industrie 4.0</li> <li>• Raumfahrtrends</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein
<b>Verwendbarkeit</b>
<p>Es wird grundlegendes Wissen über die deutsche Raumfahrt, die deutschen sicherheitspolitischen Rahmenbedingungen, deutsche Raumfahrtprojekte und die militärische Weltraumnutzung in Deutschland vermittelt. Dieses Wissen ist geeignet, um zukünftigen Ingenieuren und Personalverantwortlichen im stetig wachsenden Bereich Weltraum in der Bundeswehr und auserhalb fundierte Entscheidungsgrundlage zu sein.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
<p>Das Modul dauert 1 Trimester, es wird als Blockveranstaltung im Herbsttrimester durchgeführt</p>

Modulname	Modulnummer
Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen	3689

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr. rer. nat. Hon.-Prof. Sebastian Eibl	Wahlmodul	4

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

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
36891	VL	Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen	Pflicht	2
36892	UE	Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse in Werkstoffkunde/Chemie, Experimentalphysik und Technischer Mechanik.
Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden kennen die Methodik und die Vorgehensweise bei Schadensuntersuchungen und mögliche Reparatur- und Instandsetzungsmaßnahmen an Bauteilen.</li> <li>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.</li> <li>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.</li> </ul>
Inhalt
Die Studierenden erwerben im Modul "Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen" 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>
<p>Das Modul Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen 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</p> <p>Schlußfolgerungen aus bereits aufgetretenen Bauteilschäden auf.</p>
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Turbulente Strömungen in der Natur und Technik</b>	3830

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Christian J. Kähler	Wahlmodul	4

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
120	48	72	3

## Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38301	VL	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Pflicht	2
38302	UE	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Grundvorlesung "Strömungsmechanik" und "Grundlagen der Aerodynamik"
Qualifikationsziele
Die Studierenden sind in der Lage, die in der Natur und Technik beobachtbaren Phänomene turbulenter Strömungen zu verstehen. Sie lernen die wesentlichen Konzepte zur Beschreibung turbulenter Strömungen kennen und beherrschen die notwendigen Modellansätze zur analytischen und numerischen Berechnung. Sie sind in der Lage, turbulente Strömungsprobleme in der Natur und Technik physikalisch sinnvoll zu vereinfachen, so dass eine näherungsweise Analyse möglich ist.
Inhalt
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung, Definition, Phänomenologie</li> <li>• Entstehung der Turbulenz</li> <li>• Grundlagen der ausgebildeten Turbulenz</li> <li>• Turbulenzmodelle</li> <li>• Statistische Beschreibung der Turbulenz</li> <li>• Turbulente Scherströmungen</li> <li>• Turbulente Strömungen in den Ozeanen und der Atmosphäre</li> <li>• Experimentelle Analyse turbulenter Strömungen</li> </ul>
Literatur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorlesungsfolien</li> <li>• Franz Nieuwstadt et al., Turbulence, Springer, 2015</li> <li>• Stephen B. Pope, Turbulent Flows, Cambridge, 2000</li> </ul>

<b>Leistungsnachweis</b>
Notenschein
<b>Verwendbarkeit</b>
Detaillierte Kenntnisse über das Verhalten turbulenter Strömungen befähigen dazu, die vielfältigen Fluggeräte und deren Komponenten (z.B. Triebwerke) in allen Bereichen der Luft- und Raumfahrttechnik auszulegen und zu optimieren, aber auch Boden- und Wasserfahrzeuge können mit dem Wissen entworfen und verbessert werden.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester. Es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Biomedizin der Marsmission</b>	3831

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Juniorprof. Dr. rer. nat. Judith Reindl	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38311	VL	Biomedizin der Marsmission Vorlesung	Pflicht	2
38312	UE	Biomedizin der Marsmission Übung	Pflicht	1
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
keine

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden haben Grundkenntnisse der verschiedenen Teilbereiche der Belastungen eines Astronauten auf einer möglichen Marsmission</li> <li>2. Die Studierenden verstehen ausgewählte experimentelle Herangehensweisen, Schutz- und Messkonzepte für die Belastungen bei einer Marsmission</li> <li>3. Die Studierenden sind in der Lage, die Auswirkungen der besonderen Umweltbedingungen, die bei einer Langzeit-Weltraummission auf den Astronauten wirken, aus dem Blickwinkel eines Ingenieurs einzuschätzen und in planerische und technische Überlegungen der Missionsplanung mit einzubeziehen.</li> </ol>

Inhalt
<p>Das Modul besteht aus der Vorlesung "Biomedizin der Marsmission" und den dazugehörigen Übungen.</p> <p>Es werden folgende Inhalte vermittelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf den menschlichen Körper beim Flug zum Mars</li> <li>• psychologische und physiologische Auswirkungen der Raumnot beim Flug zum Mars</li> <li>• psychologische und physiologische Auswirkungen der sozialen Isolation beim Flug zum Mars und beim Aufenthalt auf einer Marsbasis</li> <li>• Strahlenbelastung beim Flug zum Mars</li> <li>• Strahlenbelastung auf dem Mars und Planeten ohne Atmosphäre</li> <li>• Lösungs- und Schutzstrategien für die oben genannten Herausforderungen im Rahmen aktueller Forschungsprojekte</li> </ul>

<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Schlegel W., Bille J.: Medizinische Physik 2, Medizinische Strahlenphysik</li><li>• Barrat M.R., Pool S.L.: Principles of clinical medicine for space flight</li><li>• Fundamentals of Space Medicine, 2. Auflage Springer Verlag</li><li>• Ganse Bergita, Ganse Urs: Das kleine handbuch für angehende Raumfahrer</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Mündliche Prüfung 30 Minuten oder schriftliche Prüfung 60 Minuten
<b>Verwendbarkeit</b>
Es wird grundlegendes Wissen über psychologische und physiologische Zusammenhänge durch die bei einer Langzeitmission auftretenden Belastungen auf Astronauten vermittelt. Dieses Wissen ist geeignet, um zukünftigen Ingenieuren und Astronauten eine fundierte Entscheidungsgrundlage, insbesondere für die Risikoeinschätzung, zu sein.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.



Modulname	Modulnummer
<b>Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte</b>	3910

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2022
-------	----------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roger Förstner Dr. e.H. Thomas Reiter	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
39101	VÜ	Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte	Pflicht	3
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>3</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Keine

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der/die Studierende kennt das Spektrum europäischer Raumfahrtaktivitäten im Zusammenhang mit den Programmen der europäischen Raumfahrtagentur ESA, sowie den gemeinsamen ESA-EU-Programmen</li> <li>• Der/die Studierende kennt die Phasen und die dazugehörigen Inhalte/Abläufe einer astronautischen Raumfahrtmission</li> <li>• Der/die Studierende kennt europäische Explorations- und Wissenschaftsmissionen und deren Zielsetzungen</li> <li>• Der/die Studierende versteht die natürlichen und anthropogenen Risiken in der Raumfahrt (RF-Rückstände, Weltraumwetter und erdnahe Asteroiden „Near Earth Objects“)</li> <li>• Der/die Studierende erhält einen Überblick der wirtschaftlichen und finanziellen Aspekte europäischer Raumfahrtaktivitäten</li> </ul>

Inhalt
<p>Folgende Themenbereiche sollen im Rahmen der Vorlesungsreihe in insgesamt 12 Blöcken behandelt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten</li> <li>• Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von astronautischen Raumfahrtmissionen (3 Blöcke)</li> <li>• Forschung an Bord der ISS</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Exploration des Mondes und des Mars – internationale Partner und die Rolle Europas (2 Blöcke)</li> <li>• Überblick der Wissenschafts- und Erdbeobachtungsmissionen ESA</li> <li>• Satellitenbetrieb – Überblick der Aufgaben des ESOC</li> <li>• Space Safety and Security – Sicherheit im- und aus dem Weltraum (2 Blöcke)</li> <li>• Wirtschaftliche Aspekte der Raumfahrt</li> </ul>
<b>Literatur</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Konvention der ESA</li> <li>• ESA Agenda 2025</li> <li>• Eine neue EU-Raumfahrtstrategie für Europa</li> <li>• ESA'S Annual Space Environment Report</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
schriftliche Prüfung 60 Minuten oder Notenschein
<b>Verwendbarkeit</b>
Den Studierenden wird ein Überblick des Spektrums europäischer Raumfahrtaktivitäten, deren wissenschaftliche Ziele, operationelle Rahmenbedingungen, sowie deren gesellschaftlicher Nutzen und wirtschaftliche Aspekte vermittelt. Schwerpunkte werden auf die Durchführung astronautischer Raumfahrtmissionen, sowie auf den Bereich Sicherheit im Weltraum (Space Safety) gelegt.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt. Das Modul wird als Blockvorlesung durchgeführt.

Modulname	Modulnummer
Masterarbeit LRT	1096

Konto	Masterarbeit - LRT 2022
-------	-------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
N.N.	Pflicht	5

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>				0

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.
Verwendbarkeit
Das Modul Masterarbeit stellt den Abschluss des Master-Studienganges Luft- und Raumfahrttechnik dar.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert fünf Monate. Es kann frühestens zum Anfang des Wintertrimesters des zweiten Studienjahrs begonnen werden. Spätester Beginn ist der 1. März.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Antriebstechnik	1178

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-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 Turbomaschinen und Kennfelddarstellungen der Module "Luftfahrtantriebe" und "Antriebskomponenten"

<p>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 statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Autonome Systeme	1179

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

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

Parallel zum Praktikum soll das Modul "Autonome Systeme" belegt werden. Vorausgesetzt wird ferner die Teilnahme am Modul "Filter- und Schätzverfahren". Hilfreich sind Kenntnisse in "Digitale Regelung" und "Moderne Methode der Regelungstechnik" (vor allem Zustandsraumdarstellung und Zustandsregler).

#### Qualifikationsziele

Die Studenten haben

- einen geschlossenen Regelkreis implementiert,
- ein Messverfahren der Bildverarbeitung angewandt,
- Erfahrung bei der Anwendung eines Kalman Filters gesammelt,
- Erfahrung bei der Auslegung von Regelparametern gesammelt,
- Erfahrung in der C++- oder Python-Programmierung im ROS Framework gesammelt,
- eine geschlossene Projektarbeit durchgeführt, in der Einzelaufgaben erfolgreich zusammenspielen.

#### Inhalt

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 eigenen Regler umgesetzt werden sollen.

Am Ende des Praktikums soll das Modellfahrzeug in der Lage sein, vollautonom eine gut markierte Spur abzufahren.

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 welcher auch verwendet wird, um die erwarteten Messungen zu präzisieren.

Daraus ergibt sich ein sequentieller Programmablauf aus Messung, Filterinnovation, Zustandsprädiktion und Fahrzeugregelung.

Die Einzelaufgaben umfassen:

- Kennenlernen des ROS Frameworks, Realisierung von Ein- und Ausgabe
- Aufsetzen von Bildkanten-Messfenstern (zunächst in der Simulation)
- Implementierung des 4D-Ansatzes: Verwendung eines geometrischen Modells der Fahrspur (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 erweitertes Kalman Filter (EKF) formuliert werden, welches eine Schätzung des augenblicklichen Zustandes liefert, sowie eine Prädiktion, um im darauf folgenden Bild die Messungen geeignet parametrieren zu können.
- Auslegung eines Reglers für die Fahrzeugführung
- Integration der Teilaufgaben auf dem Modellauto, Testen auf der Strecke, Optimierung der Parameter

Am letzten Termin findet ein kleiner Wettkampf zwischen den Teams statt. 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 statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Flugführungssysteme</b>	1180

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Axel Schulte	Wahlpflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11801	P	Apparatives Praktikum: Flugführungssysteme	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</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 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Fluidodynamik</b>	1181

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

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

- Windkanäle und Kanalqualifizierung
- Hitzdrahtmessung

- Zylinderumströmung
- Auftriebs- und Widerstandsbestimmung an einem Profil
- Versuche am Deltaflügel
- Schatten- und Schlierenmeßtechnik
- Particle Image Velocimetry
- Infrarotthermografie

**Literatur**

- Eckelmann H.: Einführung in die Strömungsmesstechnik. Teubner, 1997.
- Tropea C.; Yarin, A.L.; Foss, J.F.: Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. Springer Verlag, 2007.

**Leistungsnachweis**

Benoteter Schein

**Verwendbarkeit**

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.

**Dauer und Häufigkeit**

Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Luftfahrttechnik	1183

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-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 & II"

Qualifikationsziele
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Studierenden können Versuche zur Luftfahrtsystemtechnik selbstständig aufbauen, durchführen und auswerten.</li> <li>2. Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der unterschiedlichen in den Versuchen eingesetzten Komponenten und Messgeräte.</li> <li>3. Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen in den Versuchen kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.</li> <li>4. Die Studierenden lernen grundlegenden Systeme des Flugzeuges sowie Redundanzmaßnahmen kennen.</li> </ol>

Inhalt
<p>Versuch 1: <b>Sensorstabilisierung für Luftfahrzeuge:</b> 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.</p> <p>Versuch 2: <b>Drehmomenten- &amp; Schubmessung:</b> 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 Luftschaube sowie Zug- Druckkonfigurationen auf den Wirkungsgrad untersucht. Die</p>

<p>Ergebnisse werden abschließend mit verschiedenen Simulationsprogrammen verglichen und bewertet.</p> <p>Versuch 3: <b>A320 Simulator:</b></p> <p>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.</p>
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 statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Raumfahrttechnik</b>	1184

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-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
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden können die ausgewählten Versuche selbstständig definieren, aufbauen und durchführen.</li> <li>Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der unterschiedlichen in den Versuchen eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.</li> <li>Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen in den Versuchen kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.</li> <li>Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.</li> </ul>
Inhalt
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Simulationen und Versuche zur Steuerung und Regelung von Raumfahrzeugen.</li> <li>Simulation der Weltraumumgebung und Testverfahren dazu sowie der Veranschaulichung und dem Verständnis dienende Grundlagenversuche und Analysen.</li> <li>Grundlegende Versuche zur extremen Strukturbelastung durch Triebwerksschub.</li> <li>Simulation des Satellitenbetriebs mit praktischen Übungen dazu.</li> </ul>
Leistungsnachweis
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 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Regelungstechnik	1185

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
N.N.	Pflicht	4

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	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</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 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Satellitennavigation, Erdbeobachtung</b>	1186

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Mag. Dr. habil. Thomas Pany Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schmitt	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11861	P	Apparatives Praktikum: Erdbeobachtung	Pflicht	2
11862	P	Apparatives Praktikum: Satellitennavigation	Pflicht	2
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>4</b>

Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse aus der Mathematik, der Experimentalphysik, Messtechnik, MATLAB Programmierung. Je nach Schwerpunkt sind Grundkenntnisse der Navigation oder der Fernerkundung mit optischen und SAR-Sensoren erforderlich.

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 gut 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
<p><b>SATELLITENNAVIGATION (hochpräzise UAV-Positionierung mit GNSS und INS)</b></p> <p>UAVs werden vermehrt zur Aufklärung eingesetzt. Es werden unter anderem Kameras und LiDAR-Systeme zur Datengewinnung verwendet. Um diese Daten sinnvoll (georeferenziert) zu nutzen, muss die Plattform präzise (d.h. zentimeter-genau in der Position und Bogenminuten-genau in der Raumlage) positioniert werden.</p> <p>Das Praktikum stellt es sich zur Aufgaben, eine Positionierungseinheit auszuwählen und mit einem Multikopter in Betrieb zu nehmen. Sie soll bei guten (freie Sicht zum</p>

<p>Himmel) und schlechten (zwischen Gebäuden) GNSS-Bedingungen geflogen werden. Die Performance ist über optische Vergleichsmessungen (Lasertracker/Multistation) zu verifizieren. Es sind folgende Schritte mit Unterstützung der wissenschaftlichen Mitarbeiter vorgesehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verständnis der Aufgabenstellung, Auswahl der Systemkomponenten (UAV, GNSS/INS-System, Verifikationsmethode)</li> <li>• Theoretische Einarbeitung in das GNSS/INS-System und des Korrekturdatendienstes (RTK oder PPP)</li> <li>• Erste Versuchsreihe mit dem Messbus</li> <li>• Montierung des GNSS/INS-Systems und des Reflektors auf dem UAV</li> <li>• Vorbereitung der Flugversuche</li> <li>• Flug des UAV unter guten GNSS-Bedingungen</li> <li>• Flug des UAV unter schlechten GNSS-Bedingungen</li> <li>• Auswertung der Daten und Vergleich mit optischer Referenzmessung</li> </ul> <p><b>ERDBEOBACHTUNG (Auswertung von Satellitendaten)</b></p> <p>Das Praktikum umfasst folgende Arbeitspunkte basierend auf Daten der Fernerkundungssatelliten Sentinel 1 und 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation des SNAP-Software (Sentinel Application Toolbox, von der ESA bereitgestellte Software zum Lesen und Auswerten von Satellitendaten ) und Anleitung zum Gebrauch</li> <li>• Herunterladen von Sentinel-Daten vom SciHub der ESA</li> <li>• Erarbeitung der Fragestellung für ein ausgewähltes Krisen oder Naturkatastrophenszenario</li> <li>• Analyse von Zeitreihen vor und nach der Krise bzw. der Katastrophe mit Methoden der kohärenten und inkohärenten Änderungsdetektion</li> <li>• Dokumentation der Ergebnisse</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Verwendbarkeit</b>
Wesentliche Ergänzung zu den gehörten Vorlesungen in Satellitennavigation, Erdbbeobachtung und Telekommunikation, die zu vertieften Kenntnissen in den Fachgebieten führt. Das Praktikum ist auf die Vorlesungsinhalte 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.
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Thermodynamik	1187

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Mundt	Pflicht	4

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
MA-Modul "Aerothermodynamik"
MA-Modul "WSÜ"
Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden erwerben die Kompetenz, Messdaten z.B. zur Ermittlung der Temperatur qualitativ wie auch quantitativ zu bewerten.</li> <li>Die Studierenden lernen die diversen Fehlerquellen bei der Messdatenerfassung kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.</li> <li>Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.</li> <li>Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.</li> </ul>
Inhalt
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden erhalten eine grundlegende Einführung in die Thermometrie, dazu gehört insbesondere die Verwendung von Thermoelementen und Widerstandsthermometern.</li> <li>Die Studierenden werden mit den Grundlagen der Thermographie bekannt gemacht unter Verwendung einer Infrarotkamera.</li> <li>Die Studierenden erwerben umfassende Kenntnisse in der Erfassung von zeitlich kritischen Phänomenen am Stoßrohr.</li> </ul>

<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, Laser-Spektroskopie als berührungslose Temperaturmesstechnik.</li> <li>• Das erworbene Wissen wird vertieft anhand weiterer (aero)thermodynamischer Apparaturen, die sich auf Fragestellungen wie die Energieumwandlung und den Energietransport in Hochgeschwindigkeitsströmungen beziehen.</li> </ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Schriftliche Note Protokoll (Faktor 0,5)
Mündliche Note: Colloquium (Faktor 0,5)
<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 statt.

Modulname	Modulnummer
Projekt	1188

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
N.N.	Pflicht	2

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.

Modulname	Modulnummer
<b>Apparatives Praktikum Bauweisen &amp; Werkstoffe</b>	3832

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022
-------	--------------------------------------

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philipp Höfer	Wahlpflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38321	P	Apparatives Praktikum Bauweisen & Werkstoffe Praktikum	Pflicht	5
<b>Summe (Pflicht und Wahlpflicht)</b>				<b>5</b>

Empfohlene Voraussetzungen
<p>Grundlegende Kenntnisse über:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spannungen &amp; Dehnungen, Material- bzw. Werkstoffgesetze, Werkstoffcharakterisierung</li> <li>• Physikalische und mechanische Werkstoffeigenschaften, Einteilung d. Werkstoffklassen (v.a. Metalle, Kunststoffe und Faserverbundwerkstoffe)</li> <li>• Leichtbauprofile, Stabilität von Leichtbaustrukturen</li> <li>• Eigenschaften von Schwingungen, Schwingungsverhalten von Strukturen</li> <li>• Ermüdung von Werkstoffen, Rissentstehung und -wachstum</li> </ul>

Qualifikationsziele
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden kennen die wesentlichen mechanischen Prüfverfahren und können deren Anwendungsbereiche sinnvoll einordnen.</li> <li>• Die Studierenden können Werkstoff- und Strukturversuche selbstständig definieren, aufbauen und durchführen.</li> <li>• Die Studierenden verstehen die Anwendung und Bedienung der wesentlichen, bei der mechanischen Prüfung zur Anwendung kommenden, Messverfahren und Messgeräte.</li> <li>• Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen bei der Versuchsdurchführung und Auswertung kennen und können den Einfluss der Fehler abschätzen.</li> <li>• 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.</li> </ul>



<b>Inhalt</b>
<p>Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum „Bauweisen &amp; Werkstoffe“ praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf den Aufbau und die Durchführung mechanischer WERKstoff- und Strukturversuche. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Die Studierenden lernen die typischen Prüfverfahren zur Charakterisierung der (thermo-) mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen und Strukturen kennen. Dazu zählen neben den grundlegenden thermomechanischen Größen auch die Schädigung bzw. Rissausbreitung sowie das statische und dynamische Verhalten von Leichtbaustrukturen.</li><li>• Die Studierenden werden mit klassischen Messtechniken bei mechanischen Versuchen vertraut gemacht. Dazu gehören unter anderem die Kraft- und Wegmessung, die Messung von lokalen Dehnungen bzw. Dehnungsfeldern sowie Verfahren zur Risslängenmessung.</li><li>• Innerhalb der verschiedenen Versuche werden ausgewählte Inhalte aus den Modulen des Schwerpunktes "Bauweisen &amp; Werkstoffe" experimentell vertieft.</li><li>• Die Studierenden lernen klassische und moderne Prüfeinrichtungen zur experimentellen Werkstoff- und Strukturmechanik kennen. Durch den Vergleich von Theorie und Experiment lernen sie, den Anwendungsbereich der theoretischen Verfahren und die zu erwartenden Ergebnisse besser zu beurteilen.</li></ul>
<b>Leistungsnachweis</b>
Benoteter Schein
<b>Dauer und Häufigkeit</b>
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Seminar studium plus, Training	1008

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

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. Ina Ulrike Paul	Pflicht	

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

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

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

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

### **Langbeschreibung:**

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

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

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

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

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

### **Leistungsnachweis**

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

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

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

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

**Dieses Modul geht nur mit 3 ECTS-Punkten in die Gesamtnotenberechnung ein!**

#### Verwendbarkeit

Das Modul ist für sämtliche Masterstudiengänge gleichermaßen geeignet.

#### Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 2mal 1 Trimester.

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

Als Startzeitpunkt ist das Frühjahrstrimester im 1. Studienjahr vorgesehen.

# Übersicht des Studiengangs: Konten und Module

## Legende:

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

FT	PrFT	Nr	Name	M-Verantw.	ECTS
		<b>7</b>	<b>Pflicht- und Wahlpflichtmodule schwerpunktübergreifend 2022</b>		<b>228</b>
3	3	1004	Optimale Steuerung und Regelung	M. Gerdts	5
4	4	1048	Aerothermodynamik	C. Mundt	5
3	3	1049	Antriebskomponenten	R. Niehuis	5
4	4	1050	Autonome Systeme	H. Wünsche	5
3	3	1052	Chemische Thermodynamik	C. Mundt	5
4	4	1054	Dynamik und Regelung von Satelliten	R. Förstner	5
1	4	1055	Erdbeobachtung	M. Schmitt	5
3	3	1056	Filter- und Schätzverfahren	H. Wünsche	5
2	2	1057	Finite Elemente	P. Höfer	5
2	2	1058	Flugführungssysteme	A. Schulte	7
3	3	1059	Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	A. Schulte	5
4	4	1060	Flugführung und Automation	A. Schulte	5
3	3	1061	Flugsystemtechnik I	P. Stütz	5
4	4	1062	Flugsystemtechnik II	P. Stütz	5
1	1	1063	Flugzeugaerodynamik	C. Kähler	5
2	2	1064	Flugzeugentwurf	P. Stütz	5
1	1	1066	Gasdynamik	S. Scharnowski	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
2	2	1068	Leichtbaustrukturen	P. Höfer	5
2	2	1069	Luffahrtantriebe	R. Niehuis	5
1	2	1070	Kontinuierliche und Digitale Regelung	M. Gerdts	8
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
2	2	1072	Messmethoden in der Strömungsmechanik	C. Kähler	5
1	1	1073	Messtechnik	G. Dollinger	5
3	3	1076	Moderne Strukturwerkstoffe	P. Höfer	5
1	1	1077	Nichtgleichgewichts -Thermodynamik	C. Mundt	5
2	2	1078	Numerische Mathematik	M. Klein	5
4	4	1079	Projektmanagement	T. Pany	5
2	2	1080	Prozessrechentchnik	H. Wünsche	5
4	4	1081	Raumfahrtantriebe	C. Mundt	5
1	1	1082	Regelungstechnik	G. Reißig	5
1	1	1086	Satellitensysteme	R. Förstner	5
3	3	1087	Sensortechnik	H. Wünsche	5
1	1	1088	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	E. Jäggle	5
3	3	1089	Strukturdynamik	P. Höfer	5

3	3	1090	Wärme- und Stofftransport	L. Zigan	5
3	5	1092	Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung	T. Pany	7
2	3	1094	Satellitennavigation	T. Pany	6
3	3	1423	Methoden in der Produktentwicklung	P. Höfer	5
2	2	1461	Orbitmechanik und Missionsanalyse	R. Förstner	5
4	4	1550	Additive Fertigung	P. Höfer	5
3	3	3827	Computational Fluid Dynamics I	M. Klein	5
4	4	3828	Computational Fluid Dynamics II	M. Klein	5
3	3	3845	Betriebsfestigkeit	J. Bär	5
		<b>8</b>	<b>Wahlmodule alle - LRT 2022</b>		<b>14</b>
4	4	1065	FVW- Strukturen	P. Höfer	5
3	3	1154	Einführung in die Klebtechnik	J. Holtmannspötter	3
3	3	1161	Fahrzeugdynamik	A. Lion	3
2	2	1172	Flugbahnoptimierung	M. Gerdts	3
3	3	1176	Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure	S. Sammito	3
3	3	1191	Maschinendynamik	A. Lion	3
4	4	1194	Nichtlineare Finite-Elemente-Methode	P. Höfer	3
3	3	1200	Praktische Flugversuchstechnik	M. Strohal	4
3	3	1205	Satellitenbetrieb	F. Huber	3
4	4	1206	Satellitenbetrieb Praxis	F. Huber	3
3	3	1209	Thermalhaushalt bei Satelliten	A. Brandl	3
4	4	1352	Nichtlineare Regelungstechnik	G. Reißig	4
2	2	1355	Praktikum Optimale Steuerung	M. Gerdts	3
3	3	1356	Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung	M. Johlitz	3
1	1	1424	Produkt- und Innovationsmanagement	P. Höfer	5
4	4	1481	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	J. Bals	3
4	4	1491	Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken	A. Gomes	3
4	4	1492	Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/Thermofluidodynamik	T. Sander	3
4	4	1516	Fernflugkörper	M. Schiller	4
0	0	1519	Auslandsaufenthalt	N. N.	0
0	0	1520	Munich Aerospace	N. N.	0
3	3	1895	Werkstoffe für militärische Anwendungen	M. Bleckmann	3
3	3	1896	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen	J. Kiam	3
4	4	1897	Technische Verbrennung	L. Zigan	3
3	3	3000	Flugzeugbau	J. Bold	3
3	3	3508	Die deutsche Raumfahrt - Bedeutung, Politik, Struktur	R. Förstner	3
4	4	3689	Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen	S. Eibl	3
4	4	3830	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	C. Kähler	3
4	4	3831	Biomedizin der Marsmission	J. Reindl	3
3	3	3910	Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte	R. Förstner	3
		<b>9</b>	<b>Masterarbeit - LRT 2022</b>		<b>30</b>
5	5	1096	Masterarbeit LRT	N. N.	30
		<b>10</b>	<b>Projekt, Apparatives Prak - LRT 2022</b>		<b>59</b>
4	4	1178	Apparatives Praktikum Antriebstechnik	R. Niehuis	5
4	4	1179	Apparatives Praktikum Autonome Systeme	H. Wünsche	5

4	4	1180	Apparatives Praktikum Flugführungssysteme	A. Schulte	5
4	4	1181	Apparatives Praktikum Fluidodynamik	C. Kähler	5
4	4	1183	Apparatives Praktikum Luftfahrttechnik	P. Stütz	5
4	4	1184	Apparatives Praktikum Raumfahrttechnik	R. Förstner	5
4	4	1185	Apparatives Praktikum Regelungstechnik	N. N.	5
4	4	1186	Apparatives Praktikum Satellitennavigation, Erdbeobachtung	T. Pany	5
4	4	1187	Apparatives Praktikum Thermodynamik	C. Mundt	5
2	2	1188	Projekt	N. N.	9
4	4	3832	Apparatives Praktikum Bauweisen & Werkstoffe	P. Höfer	5
		<b>99MA</b>	<b>Verpflichtendes Begleitstudium plus</b>		<b>5</b>
	0	1008	Seminar studium plus, Training	I. Paul	5

# Übersicht des Studiengangs: Lehrveranstaltungen

## Legende:

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

FT	Nr	Name	Art	P/Wp	TWS
1	10554	Radar- und Lasermethoden	Vorlesung	Pf	3
1	10581	Flugdynamik und Flugregelung	Vorlesung	Pf	3
1	10631	Flugzeugaerodynamik	Vorlesung	Pf	2
1	10632	Flugzeugaerodynamik	Übung	Pf	2
1	10661	Gasdynamik	Vorlesung	Pf	2
1	10662	Gasdynamik	Übung	Pf	2
1	10671	Höhere Technische Mechanik	Vorlesung	Pf	4
1	10672	Höhere Technische Mechanik	Übung	Pf	2
1	10701	Regelungstechnik	Vorlesung	Pf	2
1	10702	Regelungstechnik	Übung	Pf	2
1	10711	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	Vorlesung	Pf	4
1	10712	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	Übung	Pf	2
1	10731	Messtechnik	Vorlesung/ Übung/Praktikum	Pf	5
1	10771	Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	Vorlesung/Übung	Pf	4
1	10821	Regelungstechnik	Vorlesung	Pf	2
1	10822	Regelungstechnik	Übung	Pf	2
1	10861	Satellitensysteme	Vorlesung	Pf	2
1	10862	Satellitensysteme	Übung	Pf	2
1	10881	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Vorlesung	Pf	2
1	10882	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Übung	Pf	2
1	14241	Produkt- und Innovationsmanagement	Vorlesung	Pf	4
1	14242	Produkt- und Innovationsmanagement	Übung	Pf	2
2	10552	Interferometrische SAR-Methoden	Vorlesung	Pf	1
2	10553	Interferometrische SAR-Methoden	Übung	Pf	1
2	10571	Finite Elemente	Vorlesung	Pf	2
2	10572	Finite Elemente	Übung	Pf	1
2	10573	Finite Elemente	Praktikum	Pf	1
2	10582	Flugführung und Navigation	Vorlesung	Pf	2
2	10641	Flugzeugentwurf	Vorlesung/Übung	Pf	5
2	10681	Leichtbaustrukturen	Vorlesung/Übung	Pf	4
2	10691	Luftfahrtantriebe	Vorlesung	Pf	2
2	10692	Luftfahrtantriebe	Übung	Pf	2
2	10703	Digitale Regelung	Vorlesung	Pf	2
2	10704	Digitale Regelung	Übung	Pf	1
2	10721	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Vorlesung	Pf	2



2	10722	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Übung	Pf	2
2	10781	Numerische Mathematik	Vorlesung	Pf	3
2	10782	Numerische Mathematik	Übung	Pf	1
2	10801	Prozessrechentechnik	Vorlesung	Pf	2
2	10802	Prozessrechentechnik	Übung	Pf	2
2	10941	Globale Satellitennavigationssysteme	Vorlesung	Pf	2
2	10942	Globale Satellitennavigationssysteme	Übung	Pf	2
2	11721	Flugbahnoptimierung, Blockveranstaltung	Vorlesung	Pf	2
2	11722	Flugbahnoptimierung	Übung	Pf	1
2	11723	Flugbahnoptimierung	Praktikum	Pf	1
2	11881	Projektarbeit	Vorlesung/Übung	Pf	0
2	13551	Optimale Steuerung - Praktikum	Vorlesung	Pf	1
2	13552	Optimale Steuerung - Praktikum	Übung	Pf	3
2	14611	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Vorlesung	Pf	2
2	14612	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Übung	Pf	2
3	10041	Optimale Steuerung und Regelung	Vorlesung	Pf	4
3	10042	Optimale Steuerung und Regelung	Übung	Pf	2
3	10491	Antriebskomponenten	Vorlesung	Pf	2
3	10492	Antriebskomponenten	Übung	Pf	2
3	10521	Chemische Thermodynamik	Vorlesung/Übung	Pf	4
3	10561	Filter- und Schätzverfahren	Vorlesung	Pf	2
3	10562	Filter- und Schätzverfahren	Übung	Pf	2
3	10591	Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	Praktikum	Pf	4
3	10611	Flugsystemtechnik I	Vorlesung	Pf	4
3	10741	Methoden in der Produktentwicklung	Vorlesung	Pf	4
3	10742	Methoden in der Produktentwicklung	Übung	Pf	2
3	10761	Moderne Strukturwerkstoffe	Vorlesung	Pf	3
3	10762	Moderne Strukturwerkstoffe	Übung	Pf	2
3	10871	Sensortechnik für Autonome Systeme	Vorlesung	Pf	2
3	10872	Sensortechnik für Autonome Systeme	Übung	Pf	2
3	10891	Strukturdynamik	Vorlesung/Übung	Pf	4
3	10901	Wärme- und Stofftransport	Vorlesung	Pf	3
3	10902	Wärme- und Stofftransport	Übung	Pf	2
3	10923	Weltraumwetter und Schwerfeld	Vorlesung	Pf	1
3	10924	Weltraumwetter und Schwerfeld	Übung	Pf	2
3	10943	Differentielle GNSS-Verfahren	Vorlesung	Pf	1
3	10944	Differentielle GNSS-Verfahren	Übung	Pf	1
3	10945	Integrierte Navigation	Vorlesung	Pf	2
3	10946	Integrierte Navigation	Übung	Pf	2
3	11541	Einführung in die Klebtechnik	Vorlesung	Pf	2
3	11542	Einführung in die Klebtechnik	Übung	Pf	1
3	11611	Fahrzeugdynamik	Vorlesung	Pf	2
3	11612	Fahrzeugdynamik	Übung	Pf	1
3	11761	Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure	Vorlesung	Pf	3
3	11911	Maschinendynamik	Vorlesung	Pf	2
3	11912	Maschinendynamik	Übung	Pf	1

3	12001	Praktische Flugversuchstechnik	Praktikum	Pf	3
3	12051	Satellitenbetrieb	Vorlesung	Pf	3
3	12091	Thermalhaushalt bei Satelliten	Vorlesung	Pf	2
3	12092	Thermalhaushalt bei Satelliten	Übung	Pf	1
3	13561	Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	18951	Werkstoffe für militärische Anwendungen	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	18961	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen Veranstaltung_1	Vorlesung	Pf	1
3	18962	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen Veranstaltung_2	Übung	Pf	2
3	18972	Technische Verbrennung	Übung	Pf	1
3	30001	Flugzeugbau	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	35081	Die deutsche Raumfahrt – Bedeutung, Politik, Struktur	Vorlesung	Pf	1
3	38271	Computational Fluid Dynamics I	Vorlesung	Pf	2
3	38272	Computational Fluid Dynamics I	Übung	Pf	2
3	38451	Betriebsfestigkeit	Vorlesung	Pf	2
3	38452	Betriebsfestigkeit	Übung	Pf	2
3	39101	Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte	Vorlesung/Übung	Pf	3
4	10481	Aerothermodynamik	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	10501	Autonome Systeme	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	10541	Dynamik und Regelung von Satelliten	Vorlesung	Pf	2
4	10542	Dynamik und Regelung von Satelliten	Übung	Pf	2
4	10601	Flugführung und Automation	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	10621	Flugsystemtechnik II	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	10622	Flugsystemtechnik II	Seminar	Pf	1
4	10651	FVW-Strukturen	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	10791	Projektmanagement	Vorlesung	WPf	2
4	10792	Projektmanagement	Übung	WPf	2
4	10811	Raumfahrtantriebe	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	10921	Sichere Satellitennavigation	Vorlesung	Pf	2
4	10922	Sichere Satellitennavigation	Übung	Pf	1
4	11471V	Optische Fernerkundung	Vorlesung	Pf	2
4	11781	Apparatives Praktikum: Antriebstechnik	Praktikum	Pf	5
4	11791	Apparatives Praktikum: Autonome Systeme	Praktikum	Pf	5
4	11801	Apparatives Praktikum: Flugführungssysteme	Praktikum	Pf	5
4	11811	Apparatives Praktikum: Fluidodynamik	Praktikum	Pf	5
4	11831	Apparatives Praktikum: Luftfahrttechnik	Praktikum	Pf	5
4	11841	Apparatives Praktikum: Raumfahrttechnik	Praktikum	Pf	5
4	11851	Apparatives Praktikum: Regelungstechnik	Praktikum	Pf	5
4	11861	Apparatives Praktikum: Erdbeobachtung	Praktikum	Pf	2
4	11862	Apparatives Praktikum: Satellitennavigation	Praktikum	Pf	2
4	11871	Apparatives Praktikum: Thermodynamik	Praktikum	Pf	5
4	11941	Nichtlineare Finite-Elemente-Methode Vorlesung	Vorlesung	Pf	2
4	11942	Rechnerpraktikum Nichtlineare FEM	Praktikum	Pf	1
4	12061	Satellitenbetrieb Praxis	Vorlesung	Pf	2
4	12062	Satellitenbetrieb Praxis	Übung	Pf	2

4	13521	Nichtlineare Regelungstechnik	Seminar	Pf	2
4	14811	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	Vorlesung	Pf	2
4	14812	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	Übung	Pf	1
4	14911	Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken	Vorlesung	Pf	2
4	14912	Wärmebelastung und Kühlung in Gasturbinen und Flugtriebwerken	Übung	Pf	1
4	14921	Optische Messmethoden in der Aerodynamik/Thermofluidodynamik	Vorlesung/Übung	Pf	3
4	15161	Fernflugkörper	Vorlesung	Pf	4
4	15501	Additive Fertigung	Vorlesung/Übung	Pf	5
4	18971	Technische Verbrennung	Vorlesung	Pf	2
4	34172	Einführung in Space Communications	Vorlesung/Übung	Pf	2
4	36891	Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen	Vorlesung	Pf	2
4	36892	Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen	Übung	Pf	1
4	38281	Computational Fluid Dynamics II	Vorlesung	Pf	2
4	38282	Computational Fluid Dynamics II	Übung	Pf	2
4	38301	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Vorlesung	Pf	2
4	38302	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Übung	Pf	1
4	38311	Biomedizin der Marsmission Vorlesung	Vorlesung	Pf	2
4	38312	Biomedizin der Marsmission Übung	Übung	Pf	1
4	38321	Apparatives Praktikum Bauweisen & Werkstoffe Praktikum	Praktikum	Pf	5
5	10961	Masterarbeit	Vorlesung/Übung	Pf	0

