Universität der Bundeswehr München
Werner-Heisenberg-Weg 39
85579Neubiberg

Modulhandbuch des Studiengangs

Luft- und Raumfahrttechnik
(Master of Science)

an der
Universität der Bundeswehr München

(Version 2026)

Stand: 18. Dezember 2025

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 weiterzuentwickeln 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 Forschungsnähe aus. Er ist darauf ausgelegt, dass seine Absolventinnen und Absolventen von Anfang an selbstständige Tätigkeiten und anspruchsvolle Aufgaben in Industrie, Verwaltung und Wissenschaft übernehmen können. Insbesondere sollen die Absolventinnen und 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 Ausgestaltung, die auf einem Bachelor-Studium der Luft- und Raumfahrttechnik aufbaut, wird die angemessene fachliche Tiefe erreicht. Der Studiengang ist so ausgelegt, dass die Absolventinnen und 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 selbständig angefertigten, wissenschaftlichen Master-Arbeit.

Absolventinnen und 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 Absolventinnen und 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) finden die Masterabsolventinnen und -absolventen Anstellung.

Im wissenschaftlichen Bereich finden Masterabsolventinnen und -absolventen als wissenschaftliche Mitarbeitende 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 Absolventinnen und Absolventen des Master-Studienganges Luft- und Raumfahrttechnik ihre erworbenen Kompetenzen und Fertigkeiten erfolgreich einsetzen, wie z.B. in

- 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.

Studienverlaufsplan

Der Studienverlaufsplan zeigt die möglichen Studienschwerpunkte. Zum erfolgreichen Abschluss des Masterstudiums sind Leistungen aus allen Pflichtmodulen (rotbraun) eines gewählten Studienschwerpunktes, einem apparativen Praktikum, einer Projektarbeit, den Modulen von Studium plus, einer Masterarbeit sowie weiteren von der Fakultät LRT angeboten Mastermodulen einzubringen.

Zum Eintrag des Studienschwerpunktes im Zeugnis müssen auch alle Wahlpflichtmodule (grau) passend zum Studienschwerpunkt absolviert werden.

		Pflichtmodul (*Lehrveanstaltung*) Wahlpflichtmodul (*Lehrveanstaltung*)	ECTS	Flugsystem-technik		Bauweisen & Werkstoffe		Aerothermo-dynamik		Flug-führungs-systeme		Antriebe		Raumfahrt-technik		Weltraum-nutzung		Autonome Systeme		CAE-Methoden	
1	Wintertrimester	Math. Methoden in den Ing.-wissenschaften	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5
		Höhere Technische Mechanik	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5	p	5
		Gasdynamik	5					p	5			p	5							wp	5
		Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	5					wp	5												
		Regelungstechnik 2	5	wp	5					p	5			p	5			p	5	p	5
		Stat. & dyn. Beansp. von Werkstoffen	5			p	5					wp	5							wp	5
		Satellitensysteme	5											p	5	p	5				
		Erdbeobachtung	5											wp	5	p	5				
		Flugführungssysteme (*Flugdyn. & Flugregel.*)	4	p	4					p	4							wp	4		
		Flugzeugaerodynamik	5	p	5			wp	5	wp	5										
		Punktezahl 1. Trimester Pflicht		19		15		15		19		15		20		20		15		15	
		Punktezahl 1. Trimester Wahlpflicht		5		0		10		5		5		5		0		4		10	
		Punktezahl 1. Trimester Pflicht + Wahlpflicht		**24**		**15**		**25**		**24**		**20**		**25**		**20**		**19**		**25**	
2	Frühjahrstrimester	Studium plus	3	p	3	p	3	p	3	p	3	p	3	p	3	p	3	p	3	p	3
		Messmethoden in der Strömungsmechanik	5					p	5			wp	5								
		Luftfahrtantriebe	5	wp	5			wp	5			p	5								
		Numerische Mathematik	5			wp	5	wp	5											p	5
		Flugzeugentwurf	5	p	5	wp	5					wp	5								
		Leichtbaustrukturen	5			p	5													wp	5
		Finite Elemente	5			p	5													p	5
		Orbitmechanik und Missionsanalyse	5											p	5	p	5				
		Satellitennavigation	5							wp	5			p	5	p	5				
		Flugführungssysteme (*Flugführung & Nav.*)	3	p	3					p	3							wp	3		
		Verkehrssystemtheorie	5	wp	5					wp	5										
		Praktikum Optimale Steuerung	3															wp	3		
		Multiagentenregelung	5															p	5		
		Punktezahl 2. Trimester Pflicht (inkl. Studium Plus)		11		13		8		6		8		13		13		8		13	
		Punktezahl 2. Trimester Wahlpflicht		10		10		10		10		10		0		0		6		5	
		Punktezahl 2. Trimester Pflicht + Wahlpflicht		**21**		**23**		**18**		**16**		**18**		**13**		**13**		**14**		**18**	
	VFZ	**Projektarbeit**		**9**		**9**		**9**		**9**		**9**		**9**		**9**		**9**		**9**	

3	Herbsttrimester	Studium plus	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2	p	2
		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												
		Antriebskomponenten	5									p	5								
		Flugsystemtechnik I	5	p	5					p	5	p	5								
		Strukturdynamik	5			p	5							wp	5					p	5
		Optimale Steuerung und Regelung	5															wp	5	wp	5
		Methoden in der Produktentwicklung	5			p	5														
		Moderne Strukturwerkstoffe	5			p	5							wp	5						
		Betriebsfestigkeit	5			wp	5														
		Robuste Navigation	5													p	5				
		Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	5													wp	5				
		Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility	5	wp	5																
		Luftverkehrsmanagement	5							wp	5										
		Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	5							p	5										
		Moderne Methoden der Regelungstechnik	5															wp	5		
		Filter- und Schätzverfahren	5															p	5		
		Sensortechnik	5															p	5		
		Punktezahl 3. Trimester Pflicht		7		17		17		12		17		2		7		12		17	
		Punktezahl 3. Trimester Wahlpflicht		5		5		0		5		5		10		5		10		5	
		Punktezahl 3. Trimester Pflicht + Wahlpflicht		**12**		**22**		**17**		**17**		**22**		**12**		**12**		**22**		**22**	
		Punktezahl 1. Studienjahr insgesamt (nur p + wp)		**66**		**69**		**69**		**66**		**69**		**59**		**54**		**64**		**74**	
		Aerothermodynamik	5					p	5					wp	5						
		Raumfahrtantriebe	5					wp	5			p	5	p	5	wp	5				
		Computational Fluid Dynamics II	5																	wp	5
		Additive Fertigung	5			wp	5														
		Projektmanagement	5	wp	5									wp	5	wp	5				
		Dynamik & Regelung von Satelliten	5											p	5	wp	5				
		Ausgewählte Kapitel d. Weltraumnutzung	5													p	5				
		Flugsystemtechnik II	5	p	5					wp	5										
		Flugführung & Automation	5							p	5										
		Autonome Systeme	5															p	5		
		Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	5															wp	3		
		Apparatives Praktikum	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		10		10		5	
		Punktezahl 4. Trimester Wahlpflicht		5		5		5		5		0		10		15		3		5	
		Punktezahl 4. Trimester Masterstudium		**15**		**10**		**15**		**15**		**10**		**25**		**25**		**13**		**10**	
5	FT	**Masterarbeit (30 CP, 5 Monate)**		**30**		**30**		**30**		**30**		**30**		**30**		**30**		**30**		**30**	
	VFZ			**47**		**50**		**50**		**47**		**50**		**50**		**50**		**45**		**50**	
		Gesamtpunktezahl Pflicht + Wahlpflicht+PA+MA+APP		**111**		**109**		**114**		**111**		**109**		**114**		**109**		**107**		**114**	
		Verbleiben für Wahlmodule		**9**		**11**		**6**		**9**		**11**		**6**		**11**		**13**		**6**	
		CP Pflicht (ohne Studium+, APP, PA & MA)		**37**		**40**		**40**		**37**		**40**		**40**		**40**		**35**		**40**	
		CP Wahlpflicht		**25**		**20**		**25**		**25**		**20**		**25**		**20**		**23**		**25**	

Apparative Praktika

Zur Auswahl des Apparativen Praktikums gibt es Empfehlungen und Alternativen im Hinblick auf den 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.

Empfehlung / Alternative	ECTS	Flugsystem-technik	Bauweisen und Werkstoffe	Aerothermo-dynamik	Flug-führungs-systeme	Antriebe	Raumfahrt-technik	Weltraum-nutzung	Autonome Systeme	CAE-Methoden
app. Praktikum Thermodynamik	5		Alternative	Empfehlung		Alternative	Alternative		Alternative	Empfehlung
app. Praktikum Fluiddynamik	5	Alternative		Empfehlung						Empfehlung
app. Praktikum Antriebstechnik	5	Alternative		Alternative		Empfehlung				Alternative
app. Praktikum Bauweisen & Werkstoffe	5	Alternative	Empfehlung			Alternative	Alternative			Empfehlung
app. Praktikum Raumfahrttechnik	5		Alternative	Alternative		Alternative	Empfehlung	Alternative	Alternative	
app. Praktikum Weltraumnutzung	5						Alternative	Empfehlung		
app. Praktikum Luftfahrttechnik	5	Empfehlung	Alternative	Alternative	Alternative	Alternative			Alternative	Alternative
app. Praktikum Flugführungssysteme	5	Alternative			Empfehlung			Alternative	Alternative	
app. Praktikum Multiagentensysteme	5				Alternative		Alternative	Alternative	Empfehlung	Alternative
app. Praktikum Autonome Systeme	5	Alternative			Alternative		Alternative	Alternative	Empfehlung	

Wesentliche Änderungen gegenüber vorhergehenden Fassungen des MHB LRT M.Sc.

Der Studienschwerpunkt **Regelungstechnik** wird nicht mehr angeboten werden.

Schwerpunkt Autonome Systeme:

- das Modul **(2326) Regelungstechnik 2** ersetzt das Modul **(1082) Regelungstechnik**
- das Modul **(1080) Prozessrechentechnik** wird als Pflichtmodul gestrichen.
- das Modul **(2327) Multiagentenregelung** wird als Pflichtmodul aufgenommen.
- das Modul **(1059) Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum** wird als Wahlpflichtmodul gestrichen.
- das Modul **(1481) Moderne Methoden der Regelungstechnik** wird als Wahlpflichtmodul aufgenommen.

Inhaltsverzeichnis

Pflicht- und Wahlpflichtmodule schwerpunktübergreifend 2026

1004 Optimale Steuerung und Regelung 8
1048 Aerothermodynamik 10
1049 Antriebskomponenten 12
1050 Autonome Systeme 14
1052 Chemische Thermodynamik 16
1054 Dynamik und Regelung von Satelliten 18
1055 Erdbeobachtung 20
1056 Filter- und Schätzverfahren 22
1057 Finite Elemente 24
1058 Flugführungssysteme 26
1059 Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum 30
1060 Flugführung und Automation 32
1061 Flugsystemtechnik I 34
1062 Flugsystemtechnik II 36
1063 Flugzeugaerodynamik 38
1064 Flugzeugentwurf 40
1066 Gasdynamik 43
1067 Höhere Technische Mechanik 45
1068 Leichtbaustrukturen 47
1069 Luftfahrtantriebe 49
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften 51
1072 Messmethoden in der Strömungsmechanik 53
1075 Moderne Methoden der Regelungstechnik 55
1076 Moderne Strukturwerkstoffe 57
1077 Nichtgleichgewichts-Thermodynamik 59
1078 Numerische Mathematik 61
1079 Projektmanagement 63
1081 Raumfahrtantriebe 65
1086 Satellitensysteme 67
1087 Sensortechnik 69
1088 Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen 71
1089 Strukturdynamik 73
1090 Wärme- und Stofftransport 75
1355 Praktikum Optimale Steuerung 77
1423 Methoden in der Produktentwicklung 79

1461 Orbitmechanik und Missionsanalyse..... 81
1481 Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme..... 83
1550 Additive Fertigung..... 85
2307 Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung..... 87
2308 Satellitennavigation..... 90
2309 Robuste Navigation..... 92
2326 Regelungstechnik 2..... 94
2327 Multiagentenregelung..... 96
2500 Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung..... 98
2501 Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility..... 100
2502 Verkehrssystemtheorie..... 102
2503 Luftverkehrsmanagement..... 104
3827 Computational Fluid Dynamics I..... 106
3828 Computational Fluid Dynamics II..... 108
3845 Betriebsfestigkeit..... 110

Wahlmodule alle - LRT 2026

1065 FVW-Strukturen..... 112
1080 Prozessrechentechnik..... 115
1154 Einführung in die Klebtechnik..... 117
1161 Fahrzeugdynamik..... 119
1172 Flugbahnoptimierung..... 121
1176 Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure..... 123
1191 Maschinendynamik..... 125
1194 Nichtlineare Finite-Elemente-Methode..... 127
1356 Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung..... 129
1492 Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/Thermofluiddynamik.. 131
1516 Fernflugkörper..... 133
1519 Auslandsaufenthalt..... 135
1520 Munich Aerospace..... 136
1621 Praktische Flugversuchstechnik..... 137
1622 Satellitenbetrieb..... 139
1623 Satellitenbetrieb Praxis..... 141
1895 Werkstoffe für militärische Anwendungen..... 143
1896 Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen..... 145
1897 Technische Verbrennung..... 147
2322 Thermalkontrolle von Raumfahrtsystemen..... 149
2323 Sicherheitskritische Systeme..... 151
2324 KI-Agenten in der Simulation..... 153
2325 Ausgewählte Kapitel der Regelungstechnik..... 155
2329 Betrieb von Luftfahrzeugen..... 157
3000 Flugzeugbau..... 161

3489 Entwicklungsmanagement....163
3508 Die deutsche Raumfahrt - Bedeutung, Politik, Struktur....166
3689 Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen....168
3830 Turbulente Strömungen in der Natur und Technik....170
3910 Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte....172
6066 Elektrische Antriebe für Satelliten....174

Masterarbeit - LRT 2026

1096 Masterarbeit LRT....176

Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

1178 Apparatives Praktikum Antriebstechnik....177
1179 Apparatives Praktikum Autonome Systeme....179
1180 Apparatives Praktikum Flugführungssysteme....181
1181 Apparatives Praktikum Fluiddynamik....183
1183 Apparatives Praktikum Luftfahrttechnik....185
1184 Apparatives Praktikum Raumfahrttechnik....187
1185 Apparatives Praktikum Regelungstechnik....189
1187 Apparatives Praktikum Thermodynamik....191
1188 Projekt....193
2504 Apparatives Praktikum Weltraumnutzung....194
3832 Apparatives Praktikum Bauweisen & Werkstoffe....196

PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

1058 Flugführungssysteme....198
1061 Flugsystemtechnik I....202
1062 Flugsystemtechnik II....204
1063 Flugzeugaerodynamik....206
1064 Flugzeugentwurf....208
1067 Höhere Technische Mechanik....211
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....213

PFL Studienschwerpunkt Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

1057 Finite Elemente....215
1067 Höhere Technische Mechanik....217
1068 Leichtbaustrukturen....219
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....221
1076 Moderne Strukturwerkstoffe....223
1088 Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen....225
1089 Strukturdynamik....227
1423 Methoden in der Produktentwicklung....229

Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Aerothermodynamik 2026

1048 Aerothermodynamik....231

1052 Chemische Thermodynamik....233
1066 Gasdynamik....235
1067 Höhere Technische Mechanik....237
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....239
1072 Messmethoden in der Strömungsmechanik....241
1090 Wärme- und Stofftransport....243
3827 Computational Fluid Dynamics I....245

Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Flugführungssysteme - LRT 2026

1058 Flugführungssysteme....247
1059 Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum....251
1060 Flugführung und Automation....253
1061 Flugsystemtechnik I....255
1067 Höhere Technische Mechanik....257
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....259
2326 Regelungstechnik 2....261

Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Antriebe - LRT 2026

1049 Antriebskomponenten....263
1061 Flugsystemtechnik I....265
1066 Gasdynamik....267
1067 Höhere Technische Mechanik....269
1069 Luftfahrtantriebe....271
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....273
1081 Raumfahrtantriebe....275
1090 Wärme- und Stofftransport....277

Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Raumfahrttechnik - LRT 2026

1054 Dynamik und Regelung von Satelliten....279
1067 Höhere Technische Mechanik....281
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....283
1081 Raumfahrtantriebe....285
1086 Satellitensysteme....287
1461 Orbitmechanik und Missionsanalyse....289
2308 Satellitennavigation....291
2326 Regelungstechnik 2....293

Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Weltraumnutzung - LRT 2026

1055 Erdbeobachtung....295
1067 Höhere Technische Mechanik....297
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....299
1086 Satellitensysteme....301
1461 Orbitmechanik und Missionsanalyse....303
2307 Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung....305

2308 Satellitennavigation....308
2309 Robuste Navigation....310

Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Autonome Systeme - LRT 2026

1050 Autonome Systeme....312
1056 Filter- und Schätzverfahren....314
1067 Höhere Technische Mechanik....316
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....318
1087 Sensortechnik....320
2326 Regelungstechnik 2....322
2327 Multiagentenregelung....324

Pflichtmodule Studienschwerpunkt: CAE-Methoden - LRT 2026

1057 Finite Elemente....326
1067 Höhere Technische Mechanik....328
1071 Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften....330
1078 Numerische Mathematik....332
1089 Strukturdynamik....334
1090 Wärme- und Stofftransport....336
2326 Regelungstechnik 2....338
3827 Computational Fluid Dynamics I....340

WPFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

1069 Luftfahrtantriebe....342
1079 Projektmanagement....344
2326 Regelungstechnik 2....346
2501 Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility....348
2502 Verkehrssystemtheorie....350

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Bauweisen und Werkstoffe - LRT 2026

1064 Flugzeugentwurf....352
1078 Numerische Mathematik....355
1550 Additive Fertigung....357
3845 Betriebsfestigkeit....359

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Aerothermodynamik - LRT 2026

1063 Flugzeugaerodynamik....361
1069 Luftfahrtantriebe....363
1077 Nichtgleichgewichts-Thermodynamik....365
1078 Numerische Mathematik....367
1081 Raumfahrtantriebe....369

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Flugführungssysteme - LRT 2026

1062 Flugsystemtechnik II....371
1063 Flugzeugaerodynamik....373
2308 Satellitennavigation....375

2502 Verkehrssystemtheorie..... 377
2503 Luftverkehrsmanagement..... 379

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Antriebe - LRT 2026

1064 Flugzeugentwurf..... 381
1072 Messmethoden in der Strömungsmechanik..... 384
1088 Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen..... 386
3827 Computational Fluid Dynamics I..... 388

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Raumfahrttechnik - LRT 2026

1048 Aerothermodynamik..... 390
1055 Erdbeobachtung..... 392
1076 Moderne Strukturwerkstoffe..... 394
1079 Projektmanagement..... 396
1089 Strukturdynamik..... 398

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Weltraumnutzung - LRT 2026

1054 Dynamik und Regelung von Satelliten..... 400
1079 Projektmanagement..... 402
1081 Raumfahrtantriebe..... 404
2500 Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung..... 406

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Autonome Systeme - LRT 2026

1004 Optimale Steuerung und Regelung..... 408
1058 Flugführungssysteme..... 410
1075 Moderne Methoden der Regelungstechnik..... 414
1355 Praktikum Optimale Steuerung..... 416
1481 Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme..... 418

Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: CAE-Methoden - LRT 2026

1004 Optimale Steuerung und Regelung..... 420
1066 Gasdynamik..... 422
1068 Leichtbaustrukturen..... 424
1088 Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen..... 426
3828 Computational Fluid Dynamics II..... 428

Munich Aerospace - LRT 2026

Verpflichtendes Begleitstudium plus

9903 studium plus 3, Seminar und Training..... 430

Übersicht des Studiengangs: Konten und Module..... 432

Übersicht des Studiengangs: Lehrveranstaltungen..... 438

Modulname	Modulnummer
Optimale Steuerung und Regelung	1004

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

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

- Modellierung und Formulierung von Optimalsteuerungsproblemen
- Notwendige Bedingungen für Optimalsteuerungsprobleme: lokales und globales Minimumprinzip
- Numerische Methoden für Optimalsteuerungsprobleme: indirekte Methoden und direkte Diskretisierungsmethoden
- Gitterbasierte Methoden auf Basis der Wertefunktion; Konstruktion von Feedback-Reglern
- Anwendung der Methoden in modell-prädiktive Regelungsverfahren
- Anwendungsbeispiele und deren praktische Lösung

Literatur

- M. Gerdts: Optimal Control of ODEs and DAEs, De Gruyter, Berlin, 2011.
- L. Grüne, J. Pannek: Nonlinear Model Predictive Control - Theory and Algorithms, 2nd Edition, Springer, 2017.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

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

Modulname	Modulnummer
Aerothermodynamik	1048

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung der Aerothermodynamik bei technischen Problemstellungen hinsichtlich Machbarkeit, Technologie und zukünftigen Trends einordnen.
2. Die Studierenden können für einfache Fälle mechanische und thermische Lasten abschätzen.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, für die jeweiligen Anwendungen sinnvolle Konfigurationen vorschlagen zu können.
4. Die Studenten bekommen Einblick in einige Phänomene, die nicht direkt LRT zuzuordnen sind.

Inhalt

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.

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.
2. Ausgehend von einer Betrachtung von reibungsfreien Über-/Hyperschallströmungen unter Idealgasannahme werden schrittweise zusätzliche Kopplungen wie z.B.Reibungseffekte, Effekte von einfachen chemischen Reaktionen im Gleichgewicht und Nichtgleichgewicht eingeführt und um Ansätze zur Beschreibung von Hochtemperaturgaseingeschaften erweitert.
3. Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf insbesondere Erdweidereintritt sowie Reichweitenflug von Flugkörpern erweitert.

Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 75 Minuten.
Verwendbarkeit
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet insbesondere von Wiedereintrittsfluggeräten.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Antriebskomponenten	1049

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dragan Kožulovi#	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- können die verschiedenen Bauweisen von Turbomaschinen klassifizieren und die passenden Bauweisen für Flugantriebe auswählen,
- können die reibungsfreie und reibungsbehaftete Strömung in Turbomaschinen analysieren,
- sind in der Lage, Überschallphänomene und dreidimensionale Strömungsphänomene zu erkennen und deren Auswirkungen zu bewerten,
- können die Leistungsparameter von Verdichtern und Turbinen hinsichtlich des Einsatzes in Flugantrieben bewerten,
- sind in der Lage, einen einfachen aerodynamischen Entwurf von Verdichter- und Turbinenschaufeln vorzunehmen und geeignete Verbesserungsmaßnahmen zu identifizieren und anzuwenden,
- kennen das charakteristische Betriebsverhalten von Verdichtern und Turbinen in Flugantrieben.

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 ab, 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

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 ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Autonome Systeme	1050

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mähllisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 „Prozessrechentechnik“ 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 Syteme" 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. Metho-den 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

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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Chemische Thermodynamik	1052

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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.
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
Dynamik und Regelung von Satelliten	1054

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
10541	VL	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	3
10542	UE	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Bachelor- und Master-Modulen der „Höheren Mathematik“, der „Technischen Mechanik“, "Regelungstechnik" sowie der „Physik“ 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:

- Einführung
- Lagekinematik
- Lagedynamik
- Kreiseldynamik
- Spin-Stabilisierung
- Gravitationsgradienten-Stabilisierung
- Dreiachsen-Stabilisierung
- Lagemanöver

Literatur

- Curtis H.D.: Orbital Mechanics for Engineering Students
- Sidi M.J.: Spacecraft Dynamics & Control
- Hughes P.C.: Spacecraft Attitude and Dynamcis
- Steiner, Schagerl: Raumflugmechanik

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

- 30 Minuten Fragenteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Formelsammlung, Taschenrechner

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Erdbeobachtung	1055

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10553	VÜ	Optische Fernerkundung	Pflicht	3
10554	VÜ	Radarfernerkundung	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik, Experimentalphysik, Messtechnik, Programmierkenntnisse.

Qualifikationsziele

Nach dem Bestehen des Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- moderne Fernerkundungsverfahren und -sensoren insbesondere aus dem Bereich der Radar- und optischen Fernerkundung darzulegen und zu vergleichen
- die Systemtechniken und die wesentlichen Auswerteverfahren unter Anwendung der digitalen Datenverarbeitung zu unterscheiden
- im Bereich der Radarfernerkundung die komplette Prozessierungskette zu beschreiben und die notwendigen Schritte vom rohen Radarsignal zum fokussierten SAR-Bild, sowie von fokussierten SAR-Bildern zu abgeleiteten Produkten wie Höhen- oder Veränderungskarten zu strukturieren.
- im Bereich der optischen Fernerkundung die geometrischen und spektralen Eigenschaften von Bilddaten zu identifizieren und verstehen, wie diese durch geeignete mathematische Modellierung zur Ableitung von Informationen genutzt werden können.
- die vielfältigen zivilen und militärischen Anwendungsbereiche der Erdbeobachtung zu benennen.

Inhalt

Optische Fernerkundung

- Optische Bilderzeugung und -aufnahme
- Grundlagen der Photogrammetrie
- Auswertung spektraler Informationen
- Landbedeckungsklassifikationen

Radarfernerkundung

- Grundlagen der Radartechnik
- Synthetik-Apertur-Prinzip
- Eigenschaften von SAR-Bildern
- SAR-Interferometrie (InSAR)
- Fortgeschrittene SAR-Methoden

Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten

Verwendbarkeit
Erweiterung des Grundwissens auf den Gebieten optische sowie Radarfernerkundung und anderer Erbdeobachtungsverfahren. Verständnis der Auswerteprozesse und Anwendungen bei der zivilen und militärischen Nutzung der Fernerkundung. Erarbeiten von Spezialwissen auf dem Gebiet der interferometrischen SAR-Verfahren beispielsweise zur Ableitung von digitalen Höhenmodellen als wesentliche zivile und militärische Planungsgrundlage.

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

Modulname	Modulnummer
Filter- und Schätzverfahren	1056

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mählisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 Syteme“ 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.

Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt:

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 Minuten

Verwendbarkeit

Sehr viele ingenieurtechnische Aufgaben erfordern die Rekonstruktion oder Filterung von Daten aus verrauschten Sensordaten oder Messwerten. Anwendungen reichen von der Schätzung der Trajektorie von Flugkörpern oder der Bahn von Satelliten oder anderer Fahrzeuge bis zur Bestimmung der eigenen Lage z.B. über GPS Laufzeitmessungen.

Darüberhinaus sind viele regelungstechnische Aufgaben erst nach Beobachtung oder Schätzung nicht direkt messbarer Zustandsgrößen lösbar, z.B. nach Schätzung der Position des eigenen Fahrzeugs oder Flugzeugs im 3D-Raum aus den 2D-Bildern einer on-board Kamera oder eines Laserscanners.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Finite Elemente	1057

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10571	VÜ	Finite Elemente	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
"Mechanik“ oder "Technische Mechanik I und II“. Sinnvoll sind auch die Module "Technische Mechanik III" und "Höhere Technische Mechanik".

Qualifikationsziele
Die Studierenden können nach erfolgreichem Bestehen des Moduls Finite Elemente die Grundbegriffe und den theoretischen Hintergrund der linearen FEM wiedergeben. Sie sind in der Lage die Methode der Finiten Elemente zu anderen numerischen Verfahren abzugrenzen, verstehen die Vorgehensweise bei der FEM und können diese zur Berechnung von linear elastischen Randwertproblemen der Strukturmechanik anwenden. Die Studierenden erwerben die Kompetenz, eigenverantwortlich eine lineare FE-Berechnung durchzuführen (ein lineares numerisches Modell im Rahmen einer FE-Software aufzubauen und zu lösen) sowie die Berechnungsergebnisse selbständig zu interpretieren und zu bewerten. Nach Abschluss des Moduls befinden sich die Studierenden zudem in der Lage, ein kommerzielles FE-Programm in Grundzügen zu benutzen.

Inhalt

In diesem Modul erwerben die Studierenden umfassende Kenntnisse zur Lösung von Problemstellungen in der linearen Strukturmechanik.
• Die Studierenden erhalten eine grundlegende Einführung in die FEM. Dazu zählen:
  • Mathematische Grundlagen
  • Einführung in die Variationsrechnung
  • Prinzip der virtuellen Arbeit.
  • Elementtypen (Art, Freiheitsgrade, Besonderheiten, Auswahl) und Anwendungsbereiche für die Elemente
  • Modellverifikation (Fehlerquellen, Standard-Tests, Konvergenz)

- Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zur Anwendung der FEM auf diskrete Problemstellungen der linearen Strukturmechanik:
  - Herleitung einfacher Elementformulierungen für Fachwerke / Stäbe sowie für Tragwerke / Balken.

- Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zur Anwendung der FEM in der linearen Kontinuumsmechanik (1D, 2D sowie 3D):
  - Schwache Form der Impulsbilanz
  - FE-Diskretisierung (Wahl der Ansatzfunktion, isoparametrische finite Elemente)
  - Materialmodell
  - Aspekte der numerischen Integration
  - Implementierung und Programmierung

- Die Studierenden erhalten Erkenntnisse über die Anwendung der FEM in der Strukturdynamik, insbesondere bei der Berechnung von Eigenfrequenzen und Eigenformen.
- Zur Anwendung der FEM in der Thermomechanik (Wärmeleitungsprobleme) erhalten die Studierenden einen grundlegenden Überblick.

Literatur

- Betten: Finite Elemente für Ingenieure 1 und 2, Springer Verlag
- Knothe, Wessels: Finite Elemente, Springer Verlag
- Link: Finite Elemente in der Statik und Dynamik, Teubner Verlag
- Müller, Groth: FEM für Praktiker Band 1, Expert Verlag
- Bathe: Finite Elemente Methoden, Springer Verlag

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugführungssysteme	1058

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10581	VL	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10582	VL	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
10583	UE	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10584	UE	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				8

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Lehrveranstaltung „Flugdynamik & Flugregelung (FDFR)“:

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

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Ziele und Aufgaben der Flugdynamik und Flugregelung, die Einordnung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik und die Bedeutung in den Wirkungsschleifen der Flugführung.
- Die Studierenden werden mit den in der Flugzeuglängsbewegung wirkenden Kräften und Momenten vertraut gemacht. Dabei werden aus den verschiedenen Flugzuständen resultierenden Einflüsse untersucht und in der Schreibweise der aerodynamischen Derivative dargestellt. Dabei werden im Einzelnen die folgenden Aspekte behandelt:
  - Anstellwinkel- und Höhenrudereinfluss auf das Nickmoment
  - Nickdämpfung und Manöverpunkt
  - 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:
  - Windfahnenstabilität und weitere Derivative der Gierbewegung (z.B. Gierdämpfung, Giersteuerung, Seitenkraft)
  - Derivative der Rollbewegung (z.B. Rolldämpfung, Rollsteuerung)
  - Kopplungsmomente (z.B. Schiebe-Rollmoment, Roll-Giermoment)

- Die Studierenden erhalten einen detaillierten Einblick in die Herleitung der nichtlinearen Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Vorgaberegelung („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.
- 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.
- 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.
- Die Studenten werden mit den ersten Grundbegriffen des Luftverkehrsmanagements und der Luftraumstruktur vertraut gemacht.
- 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.
- Die Studierenden werden in die Grundlagen der wichtigsten Navigationssensoren bzw. -systeme eingeführt. In diesem Zusammenhang werden die Prinzipien der Funknavigation, Trägheitsnavigation und Satellitennavigation erläutert.
- 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.
- 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 & Warning System“) diskutiert.
- Die Studierenden lernen die wesentlichen Funktionen eines FMS („Flight Management System“) kennen.
- Die Studierenden erhalten einen ersten Einblick in Fragestellungen des Zusammenwirkens zwischen dem Menschen (Piloten), dem Flugzeug und den automatisierten Flugführungssystemen.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 120 Minuten

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:
- Voraussetzung für das Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“
- Voraussetzung für das Modul „Flugführung & Automation“
- Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt mit Flugdynamik & Flugregelung im Wintertrimester und Flugführung & Navigation im Frühjahrstrimester.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	1059

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 rechnertechnische Realisierung sowie die dazu notwendigen Methoden und deren Anwendung kennen.
- Die Studierenden erfahren in der Praxis die Auswirkungen der Modifikation von Flugeigenschaften, sowohl durch Veränderungen der Aerodynamik als auch durch Maßnahmen der Flugregelung.
- Die Studierenden verstehen in der Praxis die Grenzen einer Reglerauslegung am linearen Modell und erkennen die Notwendigkeit von Maßnahmen wie „Gain-Scheduling“.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“ Fertigkeiten zur Simulation des dynamischen Verhaltens aerodynamisch getragener,

konventioneller Flächenflugzeuge einschließlich der Modifikation durch Flugregelsysteme auf dem Digitalrechner. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- jeweils mündliche Hausaufgabenüberprüfung (Dauer ca. 30 Minuten) - 50%
- Abschlusspräsentation (Dauer: ca. 30 Minuten, Bearbeitungszeit für Vorbereitung: ca. 10h, Abgabe Vorträge und SW-Code) - 50%

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:

- Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugführung und Automation	1060

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 Leistungsengpässe. 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 menschgerechte 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Die Studierenden werden mit dem Ansatz der kognitiven und kooperativen Automation und dem Begriff der wissensbasierten Assistenzsysteme vertraut gemacht.
- 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).
- Die Studierenden erhalten einen Einblick in aktuelle Forschungsarbeiten auf dem Feld der kognitiven Systeme und Pilotenassistenzsysteme.
- 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.

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Vorbereitung (Nettobearbeitungszeit: ca. 10h) und Präsentation eines Seminarvortrages (Dauer ca. 20 Minuten) - 40%
- Mündliche Kenntnisstandfeststellung (Dauer ca. 30 Minuten) - 60%

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:
Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik I	1061

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10611	VL	Flugsystemtechnik I	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele
1. Der/die Studierende hat vertiefte Kenntnisse der einzelnen Baugruppen und Subsysteme eines Luftfahrzeuges. 2. Der/die Studierende kennt Aufgaben und Leistungsgrenzen der grundlegenden Luftfahrzeugsubsysteme und kann unterschiedliche technische Varianten vergleichen. 3. Der/die Studierende erkennt systemische Abhängigkeiten und Verbindungen unter den Systemen 4. Der/die Studierende kann die Auswirkungen von Fehlfunktionen bewerten.

Inhalt
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. 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 • Kraftstoff und Antriebssystem und darauf auch die sogenannten Grundsysteme

- Hydraulik,
- Elektrik,
- Pneumatik

eingegangen. Anschließend werden die, darauf aufbauende
- Klimasystem
- Flugsteuerungssystem

behandelt.
Im Weiteren vertiefen die Studierenden das Wissen zu den grundlegenden Systemen des Flugzeuges in einer A320 Simulationsumgebung. Dort können die Systeme von den Studierenden bedient und deren Funktion und Leistung an animierten Systemschaubildern nachvollzogen werden.

Literatur

- Moir I.; Seabridge A.: Aircraft Systems; Wiley, 2008.
- Langton R. (Ed.); Aircraft Fuel Systems; Wiley, 2009.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik II	1062

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10621	VÜ	Flugsystemtechnik II	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
Luftfahrttechnik, Flugsystemtechnik I

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

Inhalt

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

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

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

angesprochen.

Anschließend werden weitere, darauf aufbauende Subsysteme wie

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

behandelt.

Parallel werden als seminaristischer Anteil durch die Studierenden ausgewählte Einzelthemen, die an den behandelnden Inhalt angelagert sind, aufbereitet und in Form von Kurzpräsentationen vorgetragen.

Literatur

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer: 60 Minuten) - 80%
- Seminarvortrag (Bearbeitungszeit für die Vorbereitung: ca. 10h, Dauer: ca. 30 Minuten) - 20%

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugzeugaerodynamik	1063

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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

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

Inhalt
• Kompressible Strömung/Aerodynamik • Pfeilflügel • Hochauftriebshilfen • Reine Überschallaerodynamik • Theorie schlanker Körper • Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs • Rumpfaerodynamik • Flügel-Rumpf-Kombination
Literatur
• Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 1. Springer Verlag, 2000. • Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 2. Springer Verlag, 2000. • Bertin J.J., Smith M.L.: Aerodynamics for Engineers. Prentice-Hall, 1989. • Anderson J.D.: Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill Book Company, 1984.
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung mit 75 Minuten Gesamtdauer bestehend aus 15 Minuten Kurzfragenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) und 60 Minuten Rechenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner und doppelseitig – auch maschinell – beschriebenes DIN A4 Blatt).
Verwendbarkeit
Die Flugzeugaerodynamik stellt die Voraussetzung für die aerodynamische Auslegung von Fluggeräten in allen Machzahlbereichen zur Verfügung.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester. Es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugzeugentwurf	1064

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Grundlagen der Flugmechanik und Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele

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

13 Der/die Studierende kennt die Aufteilung der bei einem Flugzeugprojekt entstehenden Kosten.

Inhalt

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

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

Zunächst wird das Auslegungsdiagramm, in welchem die grundsätzlichen Entwurfsparameter "Schub/Gewichtsverhältnis" F/G über "Flächenbelastung" G/S aufgetragen sind, allgemein vorgestellt. Im weiteren Verlauf werden aus gestellten Leistungsforderungen Grenzen des Auslegungsdiagramms entwickelt.

Im ersten Schritt werden die Punktleistungen (Steigfähigkeit, Beschleunigungsfähigkeit, max. Fluggeschwindigkeit, Dienstgipfelhöhe, durchgehaltene und maximale Wenderaten) hergeleitet, sowie die daraus entstehenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Die Betrachtung der Missionsleistungen erfordert zunächst eine Darstellung möglicher Missionsarten, sowie die Gliederung einer Mission in Missionssegmente.

Im weiteren Verlauf werden Start- und Landestrecke betrachtet. Eine Aufteilung in Teilsegmente erlaubt die Abschätzung der benötigten Roll- und Gesamtstrecken. Anschließend werden die sich aus dieser Betrachtung ergebenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Weitere Grenzen wie z.B. Böenlastvielfache, Mindeststeigwinkel bei Triebwerksausfall etc. werden behandelt und dem Auslegungsdiagramm hinzugefügt. Abschließend ergibt sich ein Auslegungsbereich möglicher Kombinationen der Parameter G/S und F/G in dem der Auslegungspunkt gewählt werden muss.

Anschließend an die Behandlung des Auslegungsdiagramms werden Reichweiten- und Warteflug, sowie die Reichweitenoptimierung behandelt.

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

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

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

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

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

Literatur

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer 60 Minuten) - 50%
- Bearbeitung eines Entwurfsprojektes (Bearbeitungszeitraum: 10 Wochen, Nettobearbeitungszeit: 50h) - 50%

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Gasdynamik	1066

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
PD Dr. rer. nat. habil. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können Form und Lage auftretender Verdichtungsstöße und Expansionswellen bei der Umströmung von zweidimensionalen Körpern sowie der Durchströmung von Düsen vorhersagen
- Die Studierenden können Änderungen der Strömungsgrößen in zweidimensionalen kompressiblen Strömungen berechnen
- Die Studierenden können das Charakteristikenverfahren zur Berechnung von Überschallströmungen für einfache Fälle anwenden
- Die Studierenden kennen die wesentlichen Realgaseffekte und wissen, wann sie auftreten und berücksichtigt werden müssen
- Die Studierenden haben Grundkenntnisse über die Temperatureffekte bei kompressiblen Grenzschichtströmungen
- Die Studierenden sind mit der Erzeugung von Überschallströmung vertraut und kennen Beispiele für die wesentliche Messtechnik zur Analyse kompressibler Strömung

Inhalt

- Thermodynamische Grundlagen
- Die Gasdynamische Grundgleichung
- Die linearisierte Potentialgleichung
- Senkrechter Verdichtungsstoß
- Schiefer Verdichtungsstoß
- Prandtl-Meyer Strömung
- Wechselwirkung von Stößen und Expansionen
- Charakteristikenverfahren

- Düsenströmung
- Realgaseffekte
- Grenzschichten in kompressiblen Strömungen
- Versuchsanlagen
- Messmethoden der Gasdynamik

Literatur

- Anderson, J.D. (2004). Modern Compressible Flow with Historical Perspective, Mc Graw-Hill
- Anderson, J.D. (2006). Hypersonic and hightemperature gas dynamics. American Institute of Aeronautics and Astronautics
- Hirschel, E.H. (2015). Basics of Aerothermodynamics, Springer-Verlag
- Jischa, M. (1982). Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch, Vieweg
- Krause, E. (2003). Strömungslehre, Gasdynamik und Aerodynamisches Laboratorium. Springer-Verlag
- Liepmann, H.W., & Roshko, A. (2001). Elements of gasdynamics. Courier Corporation
- Sauer, R. (2013). Theoretische Einführung in die Gasdynamik, Springer-Verlag
- White, F.M. (2016). Fluid Mechanics, in SI Units, Mc Graw-Hill

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner).

Verwendbarkeit

Die Inhalte der Vorlesung liefern die theoretischen Grundlagen und das notwendige Verständnis zur Analyse und Vorhersage von kompressiblen Strömungen. Die erworbenen Kenntnisse über transsonische, supersonische und hypersonische Strömung bilden die Grundlage für ein tieferes Verständnis der Strömungsphänomene in der Luft – und Raumfahrttechnik.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Leichtbaustrukturen	1068

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10681	VÜ	Leichtbaustrukturen	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in „Festigkeitslehre“ und „Leichtbau“

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

1. mehrfach statisch unbestimmte Strukturen zu analysieren sowie Schnittlastverläufe und Verformungen zu ermitteln.
2. die wesentlichen Mechanismen, die bei der Einleitung konzentrierter Kräfte in dünnwandige Strukturen wirken, darzustellen. Sie können die dabei auftretenden Spannungen ermitteln und ihre Auswirkungen auf praktische Problemstellungen übertragen und beurteilen.
3. die verschiedenen Versagensarten von Leichtbaustrukturen aufzuzählen und hinsichtlich ihrer Ursachen und Wirkung zu erklären und zu differenzieren.
4. die Berechnungsmethoden für diskrete und kontinuierliche Tragwerke zu erklären und anzuwenden.
5. stabilitätskritische Lasten für stabartige Tragwerke und einfache dünnwandige Strukturen zu bestimmen und die Ergebnisse kritisch zu beurteilen.
6. die Wirkungsweise von Membrankreiszylinderschalen mit und ohne Umfangsversteifungen zu erklären.

Inhalt

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 Membrankreiszylinderschalen wird gegeben.

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Arbeits- und Energiemethoden
  - Äußere Arbeit und Formänderungsenergie
  - Satz von Betti und Maxwell
  - Kraftgrößenverfahren, Verschiebungsbeiwerte
  - Berechnung statisch unbestimmter Strukturen

- Lasteinleitung & Lastumleitung in Leichtbaustrukturen
  - Krafteinleitungen
  - Dreigurtscheibe

- Stabilität von Leichtbaustrukturen
  - Stab-Feder-Systeme
    - Verzweigungs- und Duchschlagsprobleme
    - Stab-Feder-Systeme
    - Systeme mit mehreren Freiheitsgraden
    - Kombinierte Beanspruchungen (Interaktionsformeln)

  - Elastische Tragwerke: Balken
    - Balken mit Vorverformung
    - Näherungsverfahren für Balken
    - Elastisch gebetteter Balken, Sandwichknittern
    - Biegedrillknicken, Kippen

  - Elastische Tragwerke: Platten/Schalen
    - Plattenbeulen
    - Teilschaleninstabilitäten
    - Beulen von Kreiszylinderschalen
    - Konzept der mittragenden Breite und des Zugfeldes

- Statik der Kreiszylinderschalen
  - Übertragungsmatrix der Membranschale
  - umfangsbiegesteife Kreiszylinderschale, Spantmatrix

Literatur

- Kossira H.: Grundlagen des Leichtbaus. Einführung in die Theorie dünnwandiger stabförmiger Tragwerke. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1996.
- Wiedemann J.: Leichtbau. Elemente und Konstruktion. Berlin: Springer Verlag, 2007.
- Pflüger A.: Stabilitätsprobleme der Elastostatik. Berlin: Springer-Verlag, 1975.
- Niu M.C.Y.: Airframe Stress Analysis and Sizing. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd., 1999.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Luftfahrtantriebe	1069

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dragan Kožulovi#	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10691	VL	Luftfahrtantriebe	Pflicht	3
10692	UE	Luftfahrtantriebe	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- kennen die besonderen Merkmale von Turbofan- und Propeller-Triebwerken,
- können die Leistungsparameter von Turbofan- und Propeller-Triebwerken analysieren und die einzelnen Triebwerkskomponenten aufeinander abstimmen,
- kennen die Vor- und Nachteile verschiedener Triebwerkstypen und sind in der Lage, geeignete Triebwerkstypen für verschiedene Einsatzbereiche auszuwählen,
- verstehen die Besonderheiten des Überschallflugs und können den aerodynamischen Entwurf des Triebwerks darauf anpassen,
- verstehen das charakteristische Betriebsverhalten von Flugantrieben und können geeignete Regelungsstrategien anwenden.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Luftfahrtantriebe vertieftes Wissen über Turbofan- und Propeller-Triebwerke:

- Für beide Triebwerkstypen werden die jeweiligen Merkmale, Einsatzbereiche, Kennzahlen und aerothermodynamische Zusammenhänge erläutert.
- Es werden Grundlagen zur Berechnung des Schubs, des Wirkungsgrads und des spezifischen Triebstoffverbrauchs vermittelt.
- Wesentliche Einflussparameter auf die Triebwerksperformance werden dargelegt und geeignete Auslegungstrends abgeleitet.

Darüber hinaus erwerben die Studierenden in diesem Modul Grundlagenwissen über Besonderheiten des Überschallflugs und entsprechende Auswirkungen auf

den Triebwerksentwurf. Hierbei wird insbesondere auf die Auslegung geeigneter Überschalleinläufe, der Schubdüsen und des Nachbrenners eingegangen.

Das Modul schließt mit einer Einführung in das Betriebsverhalten von Flugantrieben und zugehöriger Komponenten ab. Hierbei wird auf Kennfelder von Verdichtern und Turbinen eingegangen sowie auf geeignete Regelungskonzepte.

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 ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Messmethoden in der Strömungsmechanik	1072

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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	3
10722	UE	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

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

- Versuchsanlagen für Modelluntersuchungen
- Verfahren zur Visualisierung von Strömungen
- 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

Mündliche Einzelprüfung mit 30 Minuten Dauer 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 Fluiddynamik", 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
Moderne Methoden der Regelungstechnik	1075

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. habil. Gunther Reißig	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnis der Inhalte aus folgenden Lehrveranstaltungen: „Höhere Mathematik“ und „Regelungstechnik 1“ des LRT-Bachelorstudiums, sowie „Regelungstechnik 2“ und „Praktikum Optimale Steuerung“. Es wird auch empfohlen, parallel „Optimale Steuerung und Regelung“ zu hören.

Qualifikationsziele

Nach Bestehen können die Studenten und Studentinnen

1. informell beschriebene Regelungsprobleme als Erreichbarkeits- bzw. Invarianzprobleme formal modellieren, einschließlich Regelkreis, Kostenfunktionale und Wertefunktionen;
2. Bellman-Operator und Wertefunktionen definieren und ihre wesentlichen Eigenschaften benennen;
3. Algorithmen zur Berechnung der Wertefunktionen und zur Synthese optimaler Regler angeben, anwenden und analysieren;
4. kontinuierliche Regelungsprobleme mittels Abstraktionen mit den im Modul behandelten Verfahren lösen.

Inhalt

Elemente der Optimalsteuerung diskreter Regelstrecken, die durch endliche Automaten mit Eingang und Störung beschrieben werden:

1. Problemklassen, Abgrenzung
2. Modellierung (Strecke, Regler, Regelkreis, Verhalten)
3. Definition von Erreichbarkeits- und Invarianzproblem
4. Kostenfunktionale und Wertefunktionen
5. Bellman-Operator und Fixpunktcharakterisierung der Wertefunktionen
6. Verfahren zur Berechnung von Wertefunktionen

7. Reglerentwurf
8. Grundzüge abstraktionsbasierter Regelungsverfahren

Literatur

- D. Bertsekas, „Dynamic Programming and Optimal Control“, Athena Sci 2020
- P. Tabuada, Verification and control of hybrid systems, Springer 2009

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten ohne Hilfsmittel.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Moderne Strukturwerkstoffe	1076

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10761	VL	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	4
10762	UE	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Nach Bestehen dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- für gegebene Anforderungsfälle geeignete Werkstoffe systematisch auszuwählen und die ganzheitlichen Eigenschaftsprofile der verschiedenen Werkstoffe zu beurteilen.
- wichtige Werkstoffklassen der Luft- und Raumfahrt zu benennen, ihre Struktureigenschaften einzuschätzen, sowie den werkstoffkundlichen Hintergrund des Materialdesigns zu beschreiben.
- Grundzüge der Auslegung und Berechnung zusammenzufassen und wesentliche Einflussfaktoren für das Strukturverhalten einzuschätzen.

Inhalt

1. Werkstoffauswahl
   1. Auswahldiagramme und Werkstoffindices, softwarebasierte Werkstoffauswahl
   2. Gleichzeitige Optimierung mehrerer Größen
   3. Ökologische Werkstoffauswahl
   4. Prozesstechnische Aspekte der Werkstoffauswahl

2. Metalle für den Leichtbau
   1. Leichtmetalle (Al-, Ti-, Mg-Legierungen)
   2. Hochfeste Stähle
   3. Zelluläre Werkstoffe (Schäume, Gitterstrukturen, „architectured materials“)

3. 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

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
Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	1077

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik bei ingenieurswissenschaftlichen Problemstellungen hinsichtlich Realisierbarkeit, Entropieproduktion und Quantifizierung erkennen.
2. Die Studierenden können für sehr einfache Fälle quantitative und ansonsten qualitative Aussagen treffen.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, die Annahmen, Begrenzungen und Vorteile der gegenwärtigen Möglichkeiten der Modellierungen der Kontinuums(fluid-) Mechanik zu beurteilen

Inhalt

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.

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.
2. Davon ausgehend werden drei Hauptthemengebiete in ihren Grundzügen betrachtet.
   - linear phänomenologische Theorie zur Beschreibung diffusiver Effekte,
   - Aufstellung makroskopischer Bilanzgleichungen und
   - Aufstellung mikroskopischer Bilanzgleichungen.
3. Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf einfache Beispielsituationen erweitert und relevante Anwendungen in numerischen Verfahren diskutiert.

Leistungsnachweis
Mündliche Prüfung 30 Minuten.
Verwendbarkeit
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.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Numerische Mathematik	1078

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10781	VL	Numerische Mathematik	Pflicht	3
10782	UE	Numerische Mathematik	Pflicht	2
10783	UE	Numerische Mathematik - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Grundlagen der numerischen Mathematik und der Softwareentwicklung aus dem Bachelorstudium

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Literatur
• W. Dahmen und A. Reusken: Numerik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer Verlag, 2008 • G. Evans, J. Blackledge, P. Yardley: Numerical Methods for Partial Differential Equations, Springer Verlag, 2000 • J.H. Ferziger, M. Peric: Numerische Strömungsmechanik, Springer Verlag, 2007 • C. Grossmann, H.G. Roos: Numerik partieller Differentialgleichungen, Teubner-Verlag, 2005 • P. Knabner, L. Angermann: Numerik partieller Differentialgleichungen, Springer Verlag, 2000 • 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 • A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri: Numerische Mathematik 1 & 2, Springer Verlag, 2000 • H. Schwarz: Methode der Finiten Elemente, Teubner-Verlag, 1991 • Josef Stoer, Roland Buliersch: Numerische Mathematik 1 und 2, Springer Verlag, Berlin 1994, 1990
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 120 Minuten (Hilfsmittel: selbst angefertigte Mitschrift aus der Vorlesung (1x DIN A4 beidseitig beschrieben), kein Taschenrechner).
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 Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Projektmanagement	1079

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Koch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Qualifikationsziele

Die Studierenden
- kennen verschiedene Vorgehensmodelle des Projektmanagements.
- können zwischen verschiedenen Strategien zum Projektmanagement unterscheiden und deren Vor- und Nachteile bewerten.
- erwerben Fähigkeiten in der Anwendung von Methoden und Tools für das Projektmanagement.
- können ein Projekt vom Projektantrag bis zum Projektabschluss begleiten und den Projektmanager in seinen Tätigkeiten unterstützen.

Inhalt

Die Studierenden erhalten im Modul eine Einführung in die Thematik, spezifische Probleme und Lösungsansätze des Projektmanagements. Neben dem Erlernen von Methoden 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 und Fallstudien vertieft.
Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:
- Einführung,
  Diskussion der Grundlagen, Begriffsdefinitionen und Abgrenzungen
- Generisches Vorgehensmodell für das Projektmanagement, Aufgaben und Merkmale der einzelnen Phasen
- Strategien im Projektmanagement
- Methoden und Tools zur Unterstützung der einzelnen Phasen im Projektmanagement

Literatur
• 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. • Meyer & Reher: Projektmanagement: Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss; Springer Gabler; 2. Auflage 2020, ISBN: 9783658287627 • Beuth-Verlag, DIN 69901-1, DIN 69901-2, DIN 69901-3, 2009
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten. Als Hilfsmittel ist ein einseitig handschriftlich beschriebenes DIN-A4-Blatt zugelassen, das mit der Prüfung abgegeben werden muss.
Verwendbarkeit
Das Modul setzt die Studierenden in die Lage, als assistierender Projektleiter in kleinen bis mittleren Projekten zu fungieren und dabei in allen Phasen des Projektes gewinnbringend mitzuwirken. Des Weiteren können die Studierenden in Verwendungen mit grundlegenden Management-Aufgaben wie Ressourcen- und Personalplanung eingesetzt werden. Dies gilt für alle technisch orientierten Projekte im Bereich Luftfahrt, Raumfahrt und Fahrzeugbau etc.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Raumfahrtantriebe	1081

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die physikalischen Grundlagen, Funktionsprinzipien und Systemarchitekturen verschiedener Raumfahrtantriebe erklären.
2. Die Studierenden sind in der Lage, Missionsanforderungen zu analysieren und grundlegende Entwurfsentscheidungen für chemische, elektrische und luftatmende Systeme zu treffen.
3. Die Studierenden können Antriebskonzepte hinsichtlich Leistung, Effizienz und technologischem Entwicklungsstand vergleichen und bewerten.

Inhalt

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen werden die physikalischen Prinzipien, Systemarchitekturen und praktischen Auslegungsmethoden verschiedener Raumfahrtantriebe behandelt. Neben der Analyse der Missionsanforderungen werden auch Entwurfs- und Betriebsaspekte diskutiert.

Vorlesung (Theorie und Systemkunde)

- Missionsanalyse und Trägerraketen
- Definition und fundamentale Leistungsparameter
- Flüssigkeitsraketenantriebe (Aufbau, Komponenten, Verbrennung und Instabilitäten)
- Feststoff- und Hybridraketen (interne Ballistik, Brennverhalten, Entwurfsprinzipien)
- Satelliten- und elektrische Antriebe (Funktionsweise, Anwendungen, Effizienz)
- Luftatmer (Ramjets, Scramjets, Detonationsmotoren)
- Zukunftskonzepte und Space Mobility

Übung / Seminar (Praktische Analyse und Entwurf)

- Anwendung theoretischer Modelle zur Dimensionierung von Raketenstufen und Satellitenantrieben
- Nutzung thermodynamischer Simulationstools (z. B. CEA) zur Bewertung der Leistungseigenschaften in Abhängigkeit von Treibstoff und Mischungsverhältnis.
- Entwurfsaufgaben zu Düsen, Injektoren und Feststoff-Booster-Konfigurationen
- Diskussion aktueller Forschungsthemen in Gastvorträgen

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 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
Satellitensysteme	1086

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10861	VL	Satellitensysteme	Pflicht	3
10862	UE	Satellitensysteme	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

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

theoretischen Grundlagen erarbeitet, dann verschiedene technische Lösungen vorgestellt und abschließend gezeigt, wie eine erste qualitative und quantitative Auslegung des Subsystems vorgenommen werden kann.

Die Gliederung der Vorlesung sieht wie folgt aus:

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

Literatur

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

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

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Sensortechnik	1087

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mählisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden

- wissen aus welchen wesentlichen Elementen die Sensoren und Sensor-Plattformen eines autonomen Systemn bestehen,
- verstehen die Funktionsweise der verwendeten Sensorsysteme,
- können die erlernten Kenntnisse im parallel stattfindenden Praktikum „Autonome Systeme“ beim Aufbau eines autonomen Modell-Fahrzeugs anwenden.

Inhalt

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.

Ausgehend von einem Überblick über die Entwicklung und den derzeitigen Stand der Meßtechnik, der Sensortechnik und von Meßplattformen werden die folgenden Themenkreise behandelt:

- Einleitung und kurze Wiederholung von: Wozu benötigen wir Sensoren, Beispiele für Sensoren in Robotern und (autonomen) Fahrzeugen, Einteilung von Sensoren.

Statistische Kenngrößen und typische Messfehler einschl. deren mathematischer Beschreibung. Sensormodelle und Sensoreigenschaften.
- Messkette – von der Messgröße zum Messwert im Rechner Signalaufbereitung, Abtastung, Abtasttheorem, Aliasing, Analog-Digital-Wandler, Digitale Signalübertragung, Serielle Bussysteme, Digital-Analog-Wandler
- 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.
- 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.
- Inertiale Messsysteme und inertiale 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.
- 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
- Abstandsgebende Sensoren auf Basis Laufzeitmessung: Prinzip der Laufzeitmessung: Ultraschallsensoren, Radar und Lidar
- Bildgebende Sensoren: Video- und Infrarotkameras, HD (hochauflösende) 3D Lidarsysteme, optische time-of-flight Kameras. Grundlagen der Modellierung, Abbildungsgleichungen, homogene Koordinaten.
- Weiterführende Themen: Sensor-Timing, -Synchronisation und -Fusion. Out-of-sequence Messung.

Literatur

- Everett H.R.: Sensors for Mobile Robots. Wellesley: Peters, 1995.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 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 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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	1088

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Eric Jägle	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10881	VL	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	4
10882	UE	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Bachelor-Studium LRT (insb. Vorlesung Werkstoffkunde)

Qualifikationsziele

- 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.
- Sie lernen, mittels bruchmechanischer Hilfsmittel die Grenzen der Einsetzbarkeit von Werkstoffen zu bewerten und die Lebensdauer von rissbehafteten Bauteilen abzuschätzen.
- Sie lernen die verschiedenen Arten des Werkstoffversagens unter zyklischer Belastung (Ermüdung) sowie deren theoretische Beschreibung kennen.
- Sie lernen die Mechanismen der zeitabhängigen plastischen Verformung bei erhöhten Temperaturen kennen und werden befähigt, die Zeitstandsfähigkeit zu berechnen.
- Sie kennen die Methoden des Werkstoffdesigns zur Verbesserung der Bruchzähigkeit, des Ermüdungsverhaltens und der Zeitstandsfähigkeit bei hohen Temperaturen.

Inhalt

1. Statische Beanspruchung: Bruchmechanik
   - Linearelastische Bruchmechanik (LEBM), Sprödbruch (Grundlagen, Grenzen der LEBM, R-Kurven-Konzept, Risszähigkeit)
   - Fließbruchmechanik (Kleinbereichsfließen, COD-Konzept, J-Integral)
   - Experimentelle Untersuchung des Bruchverhaltens
   - 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

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
Strukturdynamik	1089

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
10891	VÜ	Strukturdynamik	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Festigkeitslehre" und "Schwingungslehre"

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

- die wesentlichen Verfahren zur Lösung der klassischen Schwingungsgleichungen für Strukturen mit kleiner Dämpfung und einer beliebigen Zahl von Freiheitsgraden benennen und zu erklären.
- Zwischen den Begriffen „Eigenfrequenz“, „Eigenform“, „Modale Masse“, „Modale Steifigkeit“ und „Modale Dämpfung“ zu differenzieren. Sie können Aufgabenstellungen korrekt in „Frequenzbereich“ bzw. „Zeitbereich“ einordnen.
- Den Unterschied zwischen analytischen und numerischen Lösungsverfahren für Schwingungsgleichungen erklären. Sie können die entsprechenden Verfahren auswählen und für einfache Aufgabenstellungen anwenden.
- Für ein gegebenes physikalisches Ersatzmodell ein geeignetes mathematisches Ersatzmodell zu erstellen und dieses mit geeigneten Methoden zu lösen.
- Für einfache Aufgabenstellungen geeignete Näherungsverfahren einzusetzen, um schnell erste Aussagen bzgl. des dynamischen Verhaltens von Strukturen machen zu können.

Inhalt

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

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Schwingungen von Feder-Masse-Systemen mit einem Freiheitsgrad
  - Freie, ungedämpfte Schwingungen
  - Erzwungene Schwingungen
    - Analytische Lösung einfacher Anregungen
    - Numerische Lösungsverfahren
  - Schwach gedämpfte Schwingungen

- Schwingungen von Systemen mit vielen Freiheitsgraden
  - Eigenfrequenzen und Eigenformen
  - Systematisches Aufstellen der Bewegungsgleichung
  - Erstellung der Steifigkeitsmatrix und Massenmatrix
  - Reduktion von Freiheitsgraden
  - Orthogonalität von Eigenvektoren, Entkopplung der Bewegungsgleichungen
  - Gedämpfte Schwingungen, Dämpfungsmodelle
  - Numerische Integration der Bewegungsgleichung, Newmark-ß-Verfahren
  - Darstellung von Schwingungen im Zustandsraum
  - Allgemeines zur dynamischen Analyse von Strukturen

- Näherungsverfahren
  - Biegeschwingungen, Torsionsschwingungen, gekoppelte Biege-Torsionsschwingungen
  - Ritz’sches Verfahren, Galerkin’sches Verfahren

Experimentelle Modalanalyse

Literatur

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

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Wärme- und Stofftransport	1090

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10901	VL	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	4
10902	UE	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

- Die Studierenden erhalten zunächst eine kurze Wiederholung der Eigenschaften der drei Arten von Wärmeübertragung: Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang, Strahlung. Es wird eine Übersicht über Anwendungen in der Antriebs- und

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten.

Verwendbarkeit

Das Modul vertieft Inhalte des „Grundlagen der Wärmeübertragung“. Es bietet Methoden zur Analyse und Berechung 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
Praktikum Optimale Steuerung	1355

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse, wie sie in Modulen „Höhere Mathematik“ oder „Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften“ vermittelt werden.

Qualifikationsziele

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

Die Studierenden kennen numerische Verfahren zur Lösung von Optimalsteuerungsproblemen und können Softwarepakete wie OCPID-DAE1 anwenden, um konkrete Optimalsteuerungsprobleme zu lösen.

Die Studierenden können die berechneten Lösungen hinsichtlich Realisierbarkeit interpretieren und können die Lösungen in mobilen Robotern implementieren.

Die Studierenden sind mit einfachen Regelungsmethoden zur Verfolgung einer Sollbahn vertraut und können Sensorinformationen verwerten.

Inhalt

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

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:

- Tutorial für das Softwarepaket OCPID-DAE1
- Implementierung einfacher Optimalsteuerungsprobleme unter Verwendung von mobilen Robotern.
- Verfolgung optimaler Bahnen durch einfache Regelungsstrategien unter Verwendung von Sensoren zur Positionsbestimmung

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend auf den Teilleistungen:

- schriftlicher Praktikumsbericht (Netto-Bearbeitungszeit: 20h, Umfang maximal 20 Seiten)

Verwendbarkeit

Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in Modulen aus dem Bereich der optimale Steuerung.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Methoden in der Produktentwicklung	1423

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Koch	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14231	VL	Methoden in der Produktentwicklung	Pflicht	4
14232	UE	Methoden in der Produktentwicklung	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Qualifikationsziele

- Vermittlung von Kenntnissen zum Gesamtkontext des Produktlebenszyklus einschließlich seiner Phasen und relevanten Stakeholder
- Erlernen von Fähigkeiten zur Lösung entwicklungstypischer Probleme durch fundierte Auswahl, Anwendung und Bewertung geeigneter Methoden und Techniken
- Befähigung zur Analyse typischer methodischer Fehler in der Produktentwicklung sowie zur Ableitung wirksamer Gegenmaßnahmen
- Kennen der zukünfiguen Trends der Produktentwicklung und deren Einordnung hinsichtlich Nutzen, Reifegrad und Auswirkungen auf Prozesse, Rollen und Datenflüsse

Inhalt

Allgemeine Betrachtung

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

Prozessgestaltung

- Strukturierung von Entwicklungsprozessen: operative und strategische Vorgehensmodelle
- Prozessgestaltung für interdisziplinäre Entwicklungsaufgaben
- Phasen des Produktentwicklungsprozesses und typische Handlungen am Beispiel

Methodenunterstützung in der Produktentwicklung

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

Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung

- Produktdatenmanagement: Aufbereitung sowie 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. 9. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2019.
- Ehrenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 6. Auflage. Hanser Fachbuchverlag, 2017.
- Lindemann, U. (2007). *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden* (2., illustrierte Aufl.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-37451-0 (eBook), ISBN 978-3-540-37450-3 (Print). DOI: 10.1007/978-3-540-37451-0.
- Haberfellner, R.; de Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S. (2015). *Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung* (13., aktualisierte Aufl.). Orell Füssli Verlag, Zürich. ISBN 978-3-280-04068-3.
- Rupp, C.: die SOPHISTen. (2014). *Requirements-Engineering und -Management: Aus der Praxis von klassisch bis agil* (6., aktualisierte und erweiterte Aufl.). Carl Hanser Verlag, München. ISBN 978-3-446-43893-4.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten.

Verwendbarkeit

Das Modul Methoden in der Produktentwicklung stellt die Grundlagen für ein strukturiertes Herangehen zur Lösung von komplexen Entwicklungsaufgaben sowohl für Entwicklungstätigkeiten während des Studiums als auch in einer nachgelagerten Verwendung in den verschiedenen Bereichen der Produktentwicklung. Eine Erweiterung der in diesem Modul erlangten Kenntnisse erfolgt im Modul Entwicklungsmanagement.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Orbitmechanik und Missionsanalyse	1461

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14611	VL	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	3
14612	UE	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Bachelor-Modulen der "Höheren Mathematik", der "Physik" und der "Raumfahrtsysteme" vermittelt werden.

Qualifikationsziele
Die Studierenden sollen ein vertieftes Verständnis der Grundlagen der Orbitmechanik, Bahnbestimmung und Missionsanalyse erwerben. Sie sollen in der Lage sein, die Bewegung von Raumflugkörpern in verschiedenen Bezugssystemen zu beschreiben, Bahnelemente zu bestimmen und Bahnübergänge sowie Bahnmanöver zu analysieren und zu planen. Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sollen die Studierenden: die relevanten Bezugssysteme und Zeitreferenzen im Raumflugkontext sicher anwenden können, Keplerbahnen mathematisch formulieren und interpretieren können, die Bestimmung von Satellitenbahnen aus Beobachtungsdaten durchführen und bewerten können, Störkräfte auf Satellitenbahnen identifizieren und deren Auswirkungen analysieren können, spezielle Bahntypen (z. B. geostationäre, sonnensynchrone, Molniya-Orbits) charakterisieren können, die kinematischen und dynamischen Grundlagen von Rendezvous- und Docking-Manövern verstehen und anwenden können, sowie die Prinzipien interplanetarer Transfers und Swing-by-Manöver nachvollziehen und berechnen können. Die Studierenden sollen dadurch befähigt werden, eigenständig orbitmechanische Problemstellungen im Rahmen der Missionsanalyse, Satellitenoperation und Raumfahrttechnik zu bearbeiten.

Inhalt

Das Modul vermittelt die physikalischen und mathematischen Grundlagen der Orbitmechanik und Missionsanalyse. Es behandelt die Beschreibung und Analyse von Raumflugbahnen unter idealisierten und gestörten Bedingungen
sowie Methoden zur Bestimmung und Planung von Satelliten- und Transferbahnen.

Neben den theoretischen Grundlagen werden auch praxisrelevante Aspekte der Missionsanalyse, der Bahnverfolgung und der Manöverplanung behandelt. Die Studierenden erwerben damit ein umfassendes Verständnis der Bahndynamik von Raumflugkörpern und deren Anwendung in der Raumfahrttechnik.
Die Vorlesung gliedert sich in folgende Themenbereiche:

- Bezugssysteme und Zeitreferenzen in der Orbitmechanik
- Bahnelemente und Bahnparameter
- Bahnübergänge und Orbitmanöver
- Bestimmung von Satellitenbahnen aus Beobachtungsdaten
- Bahnstörungen und deren analytische bzw. numerische Behandlung
- Spezielle Satellitenbahnen (geostationär, sonnensynchron, Molniya, etc.)
- Relative Bewegungen im Orbit, Rendezvous und Docking
- Grundlagen interplanetarer Transfers und Swing-by-Manöver

Literatur

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten
- 30 Minuten Fragenteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Formelsammlung, Taschenrechner

Verwendbarkeit

Voraussetzung sowohl für wissenschaftliche Grundlagenforschung als auch angewandter Entwicklung im Bereich der Missionsanalyse und Bahnoptimierung für Raumfahrtmissionen.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	1481

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Honorarprofessor Dr.-Ing. Johann Bals Dr.-Ing. Tobias Bellmann	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

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

- Modellbibliotheken
- Symbolverarbeitung und Code-Generierung
- Numerische Lösungsverfahren

Ergänzend zur Vorlesung werden praktische Rechnerübungen mit Anwendungsbeispielen angeboten. Die Übung findet als Blockveranstaltung im DLR TechLab 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

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

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
Additive Fertigung	1550

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15501	VÜ	Additive Fertigung	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Nach Bestehen dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage

- wesentliche additive Fertigungsverfahren zu nennen sowie deren Funktionsweise und Besonderheiten zu erklären.
- relevante Werkstoffe für die additive Fertigung aufzuzählen, deren wesentliche Eigenschaften zu erläutern.
- die Entstehung typischer Werkstoffdefekte auf Grundlage der Mikrostrukturentstehung zu erklären und hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu bewerten.
- geeignete Werkstoffe für verschiedene Anwendungsszenarien zu bewerten und auszuwählen.
- den Entwicklungsprozess zu beschreiben, Gestaltungsmöglichkeiten und -richtlinien anhand einfacher Beispiele anzuwenden sowie die wesentlichen Unterschiede zu klassischen Fertigungsverfahren zu erklären.
- das Vorgehen in Bezug auf die Strukturberechnung und insbesondere der Topologieoptimierung darzustellen.

Inhalt

Die folgenden Inhalte werden innerhalb des Moduls behandelt:

- Grundbegriffe und Motivation
- Überblick über eingesetzte/nutzbare Werkstoffe
  - Metalle für die additive Fertigung
  - Polymere für die additive Fertigung
  - Ausblick auf andere Werkstoffklassen (Keramik, Verbundwerkstoffe)

- 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
- Lachmayer, R., Lippert, R.: Entwicklungsmethodik für die Additive Fertigung. Springer Vieweg, 2020

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung	2307

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
180	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10923	VL	Weltraumwetter und Schwerefeld	Pflicht	1
10924	UE	Weltraumwetter und Schwerefeld	Pflicht	2
23071	VÜ	Verschlüsselungsverfahren bei GNSS	Pflicht	1
34172	VÜ	Einführung in Space Communications	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Raumfahrttechnik, Satellitennavigation, Grundlagen der Elektrotechnik, Messtechnik

Qualifikationsziele

Die Veranstaltung hat drei Kapitel der Weltraumnutzung zum Inhalt. Die erste Teilveranstaltung versetzt die Studierenden in die Lage, kryptographische Verfahren und Funktionsweisen der Zugriffskontrolle und der Fälschungssicherheit in der Satellitennavigation zu analysieren. 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 zur 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

Verschlüsselungsverfahren bei GNSS

- Symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung
- GPS P/Y-Kode, M-Kode, Galileo PRS
- Schlüsselverteilung
- Galileo Open Service Message Authentication
- Wasserzeichen zur Authentifizierung von Spreizkodes

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 Raumfahrtsysteme, Grundlagen digitaler Satellitennutzlasten und digitaler Signalverarbeitung im Orbit.

Weltraumwetter und Schwerefeld
- 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 Schwerefeldbestimmung 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.

Leistungsnachweis

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

Verwendbarkeit

Vervollständigung des Wissens der Weltraumnutzung im Bereich Satellitenkommunikation, Weltraumwetter und Schwerefeldbestimmung, um zusammen mit den hier vermittelten Spezialkenntnissen der Navigation und den weiteren Vorlesungen zur Erdbeobachtung/Navigation die erdbezogenen Weltraumtechniken in ihrere Gesamtheit anzuwenden und weiterentwicklen zu können.

Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im 4. Trimester des Masterstudienganges statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitennavigation	2308

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23081	VÜ	Globale Satellitennavigationssysteme	Pflicht	4
23082	VÜ	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der höheren Mathematik (lineare Algebra) und von Raumfahrtsystemen, Grundkenntnisse der Signalverarbeitung und der elektrischen Messtechnik.

Qualifikationsziele

Die Veranstaltung hat folgende Qualifikationsziele:

- Die Absolventen können die Elemente der globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) definieren (Systemarchitektur/Segmente), wie auch die zivilen und militärischen Einsatzgebiete.
- Sie können die Funktionsweise der Signalverarbeitung und der Positionierung konzeptionell und mathematisch darstellen und daher die Verwundbarkeit von GNSS bewerten.
- Sie können die Performanzmerkmale darlegen und bei Navigationsanwendungen anwenden.
- Sie verstehen die Datenverarbeitung, Algorithmik sowie das Fehlerbudget der differentiellen GNSS-Technik inkl. RTK und PPP und erinnern die dazugehörigen Anwendungen im zivilen und militärischen Bereich.
- Sie sind in Lage Softwaretools im Bereich der GNSS-Signalverarbeitung und Positionierung selbständig einzusetzen

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, Einzel- und Doppeldifferenzen
- DGNSS, RTK und PPP
- Anwendungsspektrum

Im Rahmen der Übungen werden mit MATLAB anwendungsnahe Programme unter Anleitung entwickelt oder modifiziert, welche mit realen Daten ausgeführt werden. Ein GNSS-Softwareempfänger wird genutzt, um alle Aspekte der Signalverarbeitung anhand realer Daten zu verstehen. Weiter werden Messungen und Versuchsaufbauten mit der Ausrüstung des Navigationslabors durchgeführt (z.B.: Jamming und Spoofing von GNSS).

Literatur

Den Studierenden stehen die Powerpoint-Folien, 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.
- K. Borre et al., „A software-defined GPS and Galileo receiver; a single frequency approach“, Birkhäuser.
- H. Dodel, D. Häupler, „Die Satellitennavigation“, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- E. Kaplan, C. Hegarty, “Understanding GPS: principles and applications”, Artech house.
- P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), „Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems”, Springer 2017

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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. Die Veranstaltung vermittelt das Basiswissen im Bereich Satellitennavigation und deckt den Systemaufbau, die Signalverarbeitung, die Positionierung sowie zahlreichen GNSS-Anwendungen ab.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Robuste Navigation	2309

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23091	VÜ	GNSS in Luft- und Raumfahrt	Pflicht	2
23092	VÜ	Integrierte Navigation	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse aus der Vorlesung "Satellitennavigation"

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können nach dem erfolgreichen Besuch der Veranstaltung Navigationsanforderungen der Luftfahrt sowie die Zuverlässigkeit von GNSS darlegen.
- Sie sind in der Lage Verfahren zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von GNSS handzuhaben (RAIM, ARAIM) resp. darzustellen (SBAS, GBAS) und sie können analysieren, inwiefern die Navigationsanforderungen der Luftfahrt damit erfüllt werden können.
- Weiterhin können Sie Anwendungsfälle von GNSS in der Raumfahrt definieren und verschiedene der dafür notwendigen Verfahren der Signalverarbeitung
- Sie können Navigationssensorik und integrierte Navigationssysteme beschreiben, und sie für eine bestimme Anwendung entwerfen. Sie erinnern 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 können einen Kalman-Filter für Navigationsverfahren entwickeln.
- Sie erinnern die Strapdown-Rechnung der Inertialnavigation (INS) und können ein einfaches gekoppeltes GNSS/INS-System selbständig anwenden.

Inhalt

1) GNSS in Luft- und Raumfahrt
- Einsatz von GNSS innerhalb verschiedener Flugphasen
- Kenntnis über die Fehlersicherheit von GNSS und deren mathematischer Beschreibung. Erhöhung der Fehlersicherheit durch empfangerinterne Verfahren (RAIM, ARAIM) oder lokale Ergänzungssysteme (SBAS, GBAS).

- GNSS-Empfänger für die Raumfahrt und Stützung bei hochdynamischen Anwendungen

2) 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 §D
- GNSS)INS-Fehlerrrechnung und Systemauslegung

Literatur

Als optionale Literatur wird empfohlen:

- K. Wendel, „Integrierte Navigationssysteme: Sensordatenfusion, GPS und Inertiale Navigation“, Walter de Gruyter, 2011.
- P. Groves, “Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems”, Artech-House, 2013.
- P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), „Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems”, Springer 2017.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

Im Gegensatz zur täglichen Nutzung von GNSS von Milliarden von Anwendern im Massenmarkt (Smartphones, KFZ, IoT, …) verlangen Anwendungen in der Luftfahrt, im militärischen Bereich, sowie im professionellen Bereich (autonome Systeme, Umgebungserfassung, Erdbeobachtung, …) eine stark erhöhte Zuverlässigkeit. Das Modul vermittelt die notwendigen Kenntnisse, um als Navigationsingenieur in diesen Bereichen später tätig zu sein.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnik 2	2326

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23261	VL	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
23262	UE	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Höhere Mathematik", "Technische Mechanik", "Messtechnik", "Experimentalphysik", "Allgemeine Elektrotechnik" und "Regelungstechnik 1" des LRT-Bachelorstudiums.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Mehrgrößensystemen beschreiben und dessen Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit analysieren.
2. Die Studierenden sind in der Lage, das Verhalten von Mehrgrößensystemen mithilfe geeigneter Mehrgrößenregler gezielt zu beeinflussen.
3. Die Studierenden verfügen über grundlegende Kenntnisse in der digitalen Signalverarbeitung sowie in der Modellierung, Analyse und Synthese digitaler Regelkreise.

Inhalt

Im Modul Regelungstechnik 2 wird das in der Grundlagenvorlesung "Regelungstechnik 1" erworbene Wissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft:

1. Ausgehend von Eingrößensystemen werden Methoden zur Beschreibung und Analyse dynamischer Mehrgrößensysteme behandelt. Neben der Einführung grundlegender Begriffe (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden elementare Methoden zur Analyse des Systemverhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und zur Untersuchung der Steuer- und Beobachtbarkeit vermittelt.
2. Grundlagen zur Synthese linearer Mehrgrößenregler:
   - Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
   - Zustandsbeobachter,
   - erweiterte Regelungsstrukturen

3. Beschreibung und Analyse digitaler Mehrgrößensysteme:
   - Definition und Abtastsystem, Halteglied und zeitdiskreter Standardregelkreis
   - Beschreibung durch zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Umwandlung von kontinuierlichen Zustandsmodellen in zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Steuer- und Beobachtbarkeit
   - Stabilität

4. Grundlagen zur Synthese digitaler Regelungen:
   - Entwurf digitaler Regelungen
   - Digitaler PID-Regler
   - Optimale Regelung

Literatur

- J. Lunze: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 10. Auflage. Berlin: Springer–Verlag, 2020.
- F. Borrelli, A. Bemporad, and M. Morari: Predictive Control for Linear and Hybrid Systems, Cambridge University Press, 2017.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Steuer- und Regelungstechnik.
In diesem Studiengang:
- Voraussetzung für das Modul „Moderne Methoden der Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Multiagentenregelung**“**
- Voraussetzung für das Modul „Ausgewählte Kapitel 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
Multiagentenregelung	2327

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23271	VL	Multiagentenregelung	Pflicht	3
23272	UE	Multiagentenregelung	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnis der Inhalte aus folgenden Lehrveranstaltungen: „Höhere Mathematik“ und „Regelungstechnik 1“ des LRT Bachelorstudiums, sowie „Regelungstechnik 2“. Es wird auch empfohlen, parallel das Modul „Praktikum Optimale Steuerung“ zu belegen.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden sind in der Lage, die erforderlichen Schritte zur Entwicklung von Regelungsalgorithmen für vernetzte und automatisierte Fahrzeuge selbstständig umzusetzen.
2. Dabei berücksichtigen sie eigenverantwortlich technische, sicherheitsrelevante und organisatorische Aspekte der Entwicklung.
3. Sie können beurteilen, welche der verfügbaren Ansätze, Methoden und Algorithmen sich für eine gegebene Aufgabenstellung eignen

Inhalt

Im Modul „Multiagentenregelung“ werden die Grundlagen zur Entwicklung von Regelungsalgorithmen in vernetzten Fahrzeugen vermittelt:

1. Dynamische Fahrzeugmodelle
   - Kinematische und kinetische Massenpunktmodelle
   - Einspurmodelle

2. Regelungstechnik und Optimierung
   - Regelkreisglieder
   - Stabilität von Regelkreisen
   - Digitale Regelung
   - Zustandsraumdarstellung
   - Modellprädiktive Regelung
   - Konvexe Optimierung
   - Nicht-konvexe Optimierung

3. Netzwerk und Verteilung
   - Graphentheorie
   - Verteilte Algorithmen
   - Kooperative und nicht-kooperative Ansätze zur vernetzten Regelung

4. Softwarearchitekturen und Testkonzepte
   - Dienstorientierte Softwarearchitekturen
   - Vorgehensmodelle
   - In-the-Loop Tests von vernetzten Systemen

5. Fallstudie
   - Entwicklung eines Beispielsystems in Form einer Fahrzeugkolonne

Literatur

- R. Rajamani: Vehicle Dynamics and Control. 2. Auflage, Springer, 2005.
- S. Boyd and L. Vandenberghe. Convex Optimization. Cambridge University Press, 2004.
- J. Maciejowski. Predictive Control with Constraints. Prentice Hall, 2002.
- D. Simon. Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches. John Wiley & Sons, 2006.
- D. Abel, A. Bollig. Rapid Control Prototyping. Springer, 2006

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	2500

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schmitt	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25001	VÜ	Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	Pflicht	4
25002	UE	Aktuelles aus der Erdbeobachtungs-Forschung	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der Höheren Mathematik (vor allem lineare Algebra und Statistik). Grundkenntnisse in der Programmierung von Algorithmen. Interesse an der Arbeit mit Bild- und Rastergeodaten.

Qualifikationsziele

Nach dem Bestehen des Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- zu erklären zu welchem übergeordneten Zweck und mit welchen Methoden digitale Bilder automatisiert und rechnergestützt verarbeitet werden
- den Zusammenhang von Bild- und Signalverarbeitung darzustellen
- geeignete Methoden aus den Bereichen Bildverarbeitung, Signalverarbeitung und maschinellem Lernen auszuwählen und anzuwenden
- einfache Algorithmen in einer höheren Programmiersprache zu implementieren

Inhalt

- Grundlagen der Signalverarbeitung
  - Diskrete und kontinuierliche Signale
  - Fourier-Transformation und Spektrum
  - Faltung und Korrelation
  - Grundlegende Filter

- Bildverarbeitung
  - Digitale Repräsentation von Bildern
  - Histogramme und statistische Momente
  - Farbräume und -modelle
  - Zweidimensionale Faltung
  - Grundlegende 2D-Filter
  - Bildgradienten
  - Merkmalsextraktion

- Maschinelles Lernen
  - Arten des maschinellen Lernens (überwacht, unüberwacht)
  - Datenannotation
  - Training und Evaluation
  - Typische Modelle
  - Künstliche neuronale Netzwerke

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten.

Verwendbarkeit

Eine der Kernaufgaben in der Erdbeobachtung ist die Entwicklung von Verfahren und Algorithmen zur automatisierten Extraktion von Informationen aus Bilddaten und bildähnlichen Daten und Signalen. Dieses Modul stellt die dazu notwendigen Grundlagen bereit. Dabei sind die vermittelten Kenntnisse und Methoden auch übertragbar auf andere Bereiche der Luft- und Raumfahrttechnik, z.B. auf die Navigation, die industrielle Messtechnik oder die Auswertung von Sensordaten autonomer Systeme.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility	2501

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schultz	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25011	VÜ	Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage:

- die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten über den Aufbau und den Betrieb des Flughafens zu kennen.
- die wichtigsten Strukturen am Flughafen und bei der Flugzeugabfertigung zu erinnern und operative Zusammenhänge zu verstehen.
- Randbedingungen für den sicheren, effizienten und ressourcenschonenden Betrieb zu kennen.
- die Einbindung des Flughafens in das intermodale Verkehrsmanagement zu verstehen und auf das Urbane Luftverkehrsmanagement zu transferieren.
- Methoden zur Bestimmung von Kapazitätskennzahlen zu kennen, eigenständig anzuwenden und die Ergebnisse zu beurteilen.
- Abfertigungsprozesse am Flughafen mathematisch zu verstehen und in Simulationsmodellen zu analysieren.
- Daten aus realen Prozessabläufen zu analysieren und zu bewerten, sowie Lösungen für Verbesserungsansätze zu entwickeln.

Inhalt

- Vorstellung verschiedener Systemteilnehmer und ihrer Aufgaben (bspw. Flugsicherung, Flughafen, Luftverkehrsgesellschaft, Bodenabfertiger).
- Vorstellung von rechtlichen Rahmenbedingungen sowie Safety- und Securityaspekte am Flughafen
- Beschreibung spezifischer Prozessabläufe für den effizienten Betrieb von Luftfahrzeugen am Boden (Start/Landung, Taxi, An- /Abflug)
- Passagierprozesse am Flughafen und Flugzeugturnaround
- Modellierung und Simulation von Prozessabläufen bei der Passagier- und Flugzeugabfertigung

- Herausforderungen bei der Integration von neuen Technologien und Verfahren
- Flughafen als intermodale Schnittstelle im Luftverkehrssystem, Skalierung zum Vertiport und Anforderungen aus der urbanen Mobilität
- Airport Collaborative Decission Making als Schlüsseltechnologie zum effizienten Management
- Digitalisierung und Automatisierung von Flughafenprozessen

Literatur

- Dieter Schmitt, Volker Gollnick: Air Transport System (Research Topics in Aerospace), 2016
- Heinrich Mensen: Moderne Flugsicherung: Organisation, Verfahren, Technik, 2014.
- Michael Schultz: Entwicklung eines individuenbasierten Modells zur Abbildung des Bewegungsverhaltens von Passagieren im Flughafenterminal, 2010.
- Cheng-Lung Wu: Airline Operations and Delay Management, 2010.
- Roland Conrady, Frank Fichert, Rüdiger Sterzenbach: Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2019.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Programmierung eines Anwendungsfalls und Erstellen eines Ergebnisberichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in der der Anwendungsfall analysiert, die Programmieraufgabe dokumentiert und die geforderten Ergebnisse kritisch bewertet werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 18h) - 30%
- Schriftlicher Kenntnisnachweis (Dauer: 60 Minuten) - 70%

Verwendbarkeit

Erweiterung des spezifischen Fachwissens auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrttechnik.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Verkehrssystemtheorie	2502

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schultz	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25021	VÜ	Verkehrssystemtheorie	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage:

- die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Verkehrssystemtheorie zu verstehen.
- die Leistungsfähigkeit eines Verkehrssystems qualitativ und quantitativ zu bewerten.
- Mathematische und statistische Methoden zu verstehen sowie in analytische und modell-basierte Ansätze zu überführen.
- Modelle zur Abbildung von Verkehrsströmen zu kennen, eigenständig anzuwenden und die Ergebnisse zu beurteilen.

Inhalt

- Vermittlung von mathematischen und statistischen Grundlagen
- Deterministische und stochastische Modellierung von Verkehrsströmen
- Bestimmung von Kapazität und Leistungsfähigkeit von Transportsystemen, insbesondere mit Bezug auf das Luftverkehrssystem
- Grundlagen der Warteschlangentheorie
- Grundlagen von Modellierung, Simulation und Auswertung von Verkehrsprozessen
- Vorstellung und Implementierung von Optimierungsverfahren (bspw. kürzeste Wege)
- Meßverfahren, Datenerhebung und -bewertung

Literatur

- Dieter Schmitt, Volker Gollnick: Air Transport System (Research Topics in Aerospace), 2016.
- Heinrich Mensen: Moderne Flugsicherung: Organisatin, Verfahren, Technik, 2014.
- Cheng-Lung Wu: Airline Operations and Delay Management, 2010.
- Roland Conrady, Frank Fichert, Rüdiger Sterzenbach: Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2019.

Leistungsnachweis
Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen: • Programmierung eines Anwendungsfalls und Erstellen eines Ergebnisberichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in der der Anwendungsfall analysiert, die Programmieraufgabe dokumentiert und die geforderten Ergebnisse kritisch bewertet werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 18h) - 30% • Schriftlicher Kenntnisnachweis (Dauer: 60 Minuten) - 70%
Verwendbarkeit
Erweiterung des spezifischen Fachwissens auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrttechnik.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Luftverkehrsmanagement	2503

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schultz	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25031	VÜ	Luftverkehrsmanagement	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
Mathematik

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage:

- die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten über das Luftverkehrsmanagement zu verstehen.
- die wichtigsten Aufgaben von Flugsicherung, Fluggesellschaften und Flughäfen sowie deren wechselseitigen Abhängigkeiten zu verstehen.
- Randbedingungen für den sicheren, effizienten und ressourcenschonenden Luftverkehrsbetrieb zu kennen.
- Methoden zur Bestimmung von Kapazitäts-, Belastungs-, und Effizienzkennzahlen zu kennen, eigenständig anzuwenden und die Ergebnisse zu beurteilen.
- Daten aus realen Flugverläufen zu analysieren und zu bewerten, sowie Lösungen für eine verbesserte Verkehrsführung zu entwickeln.
- Konzepte für ein urbanes Luftverkehrsmanagement zu verstehen und zu bewerten.
- die Anforderungen für Integration von neuen Technologien (bspw. Autonome Verkehre) und Verfahren zu verstehen.

Inhalt

- Beschreibung grundlegender Aspekte des Luftverkehrsmanagements in Europa, USA und Asien
- Definition rechtlicher und operativer Rahmenbedingungen (bspw. Luftraumstrukturen)
- Integrationsaspekte von verschiedensten Verkehrsteilnehmern (UAM, Weltraumflüge)
- Militärische Flugführung und zivil/militärische Integration
- Skalierung des Luftverkehrsmanagements auf den urbanen Raum
- Aspekte der Modellierung und Simulation von verschiendenen Aspekten des Kapazitäts- und Verkehrsmanagements

- Herausforderungen bei der Integration von neuen Technologien und Verfahren bei der Flugführung, Aufbau von Lotsenarbeitsplätzen
- Aspekte des Airlinemanagements und Umlaufplanung unter Berücksichtigung von Planabweichungen (Verspätungen, Störungen)
- Datenanalyse von Flugbewegungen (Big Data, Machine Learning)

Literatur

- Dieter Schmitt, Volker Gollnick: Air Transport System (Research Topics in Aerospace), 2016.
- Heinrich Mensen: Moderne Flugsicherung: Organisation, Verfahren, Technik, 2014.
- Cheng-Lung Wu: Airline Operations and Delay Management, 2010.
- Roland Conrady, Frank Fichert, Rüdiger Sterzenbach: Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2019.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Programmierung eines Anwendungsfalls und Erstellen eines Ergebnisberichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in der ein Anwendungsfall analysiert, die Programmieraufgabe dokumentiert und die geforderten Ergebnisse kritisch bewertet werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 18h) - 30%
- Schriftlicher Kenntnisnachweis (Dauer: 60 Minuten) - 70%

Verwendbarkeit

Erweiterung des spezifischen Fachwissens auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrttechnik

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Computational Fluid Dynamics I	3827

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38271	VL	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	2
38272	UE	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	3
38273	UE	Computational Fluid Dynamics I - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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 Fluiddynamik, 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

Literatur

- Blazek J.: Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. Elsevier, Amsterdam, 2001.
- Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- Hirsch Charles: Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. I&II. Butterworth Heinemann, 2007.
- LeVeque Randall J.: Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics. Cambridge University Press, 2002.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Computational Fluid Dynamics II	3828

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38281	VL	Computational Fluid Dynamics II	Pflicht	2
38282	UE	Computational Fluid Dynamics II	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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 Wäremübergang und Fluid-Struktur Interaktion, rundet die Vorlesung ab.

Inhalt

- Large Eddy Simulation
- Hybride RANS-LES Verfahren
- Zweiphasenströmungen mit bewegter Phasengrenze
- Partikelströmungen
- Verbrennungsmodellierung
- Überschallströmungen
- Explosionen
- Zukunftsthemen: Fluid-Struktur-Interaktion, Wechselseitiger Wärmeübergang, Lattice-Boltzmann Verfahren, Nicht-Newtonsche Fluide

Literatur

- Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- Poinsot T., Veynante D.: Theoretical and Numerical Combustion, Edwards, 2007.

- 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: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Bearbeitung eines CFD-Projektes (Nettobearbeitungsumfang: 90h) - 80%
- Abschlusspräsentation 15 Minuten - 20%

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
Betriebsfestigkeit	3845

Konto	PFL + WPFL schwerp.überg - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
apl. Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Bär Dr.-Ing. Steffen Rödling	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38451	VL	Betriebsfestigkeit	Pflicht	3
38452	UE	Betriebsfestigkeit	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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

- Ermüdungsverhalten metallischer Werkstoffe: Werkstoff- und Bauteilwöhlerlinie, Lebensdauerlinie, Kennwerte und Kennwertfunktionen der Beanspruchbarkeit für

die Berechnung, statistische Beschreibung der Lebensdauer, Einflussgrößen in der Ermüdungsfestigkeit
- 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

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
FVW-Strukturen	1065

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10651	VÜ	FVW-Strukturen	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Festigkeitslehre"

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

1. die Einzelkomponenten von Faserverbundwerkstoffen und deren Eigenschaften zu benennen. Sie können erklären, wie diese Werkstoffkomponenten im Verbund zusammenwirken.
2. das Verhalten orthotroper und anisotroper Werkstoffe zu erläutern und das Versagen solcher Werkstoffe anhand verschiedener Bruchkriterien zu beurteilen.
3. die Eigenschaften beliebig aufgebauter Laminate rechnerisch zu ermitteln und diese im Hinblick auf zu konstruierende Strukturen zu beurteilen.
4. die Stärken und Schwächen von Faserverbundwerkstoffen beim Einsatz in tragenden Strukturen aufzuzählen und zu erklären.
5. Fertigungsverfahren für Faserverbundwerkstoffe zu benennen und fertigungsbedingte Besonderheiten zu erklären. Sie können die grundlegenden Verfahren selber anwenden.
6. Die Studierenden kennen die Einzelkomponenten von Faserverbundwerkstoffen und deren Eigenschaften. Sie wissen, wie diese Werkstoffkomponenten im Verbund zusammenwirken.
7. Die Studierenden verstehen das Verhalten orthotroper und anisotroper Werkstoffe, sie können das Versagen solcher Werkstoffe an Hand von verschiedenen Bruchkriterien beurteilen.
8. Die Studierenden sind in der Lage, die Eigenschaften beliebig aufgebauter Laminate rechnerisch zu ermitteln und deren Eigenschaften im Hinblick auf zu konstruierende Strukturen zu beurteilen.
9. Die Studierenden kennen die Stärken, aber auch die Schwächen des Faserverbundwerkstoffes beim Einsatz in tragenden Strukturen.

10 Die Studierenden wissen, wie Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen hergestellt werden können und welche fertigungsabhängigen Eigenschaften beachtet werden müssen.

Inhalt

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

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Materialien
  - Faserwerkstoffe
  - Matrixwerkstoffe
  - Halbzeuge

- Unidirektionalschicht (UD-Schicht)
  - Eigenschaften der UD-Schicht
  - Werkstoffgesetz der UD-Schicht
  - Matrixschrumpf und Feuchtigkeitsaufnahme

- Mehrschichtverbunde (klassische Laminattheorie)
  - Transformation der UD-Schicht
  - Werkstoffgesetz der geschichteten Platte
  - Berechnung der Spannungen in den Einzellagen
  - Schubspannung infolge der Querkraft der geschichteten Platte

- Versagenskriterien
  - Maximale Spannung, maximale Dehnung
  - Versagenskriterien von Hofmann, Tsai-Wu, Puck

- Berechnung von FVW-Strukturen
  - Auslegung und Optimierung von Laminaten
  - Stabartige Elemente, 3D-Laminattheorie
  - Krafteinleitungen (Bolzen, Schlaufen, Klebung)

Fertigungsverfahren

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.
- Vinson J.R., Sierakowski R.L., The behavior of Structures Composed of Composite Materials. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002

Leistungsnachweis
Mündliche Prüfung 30 Minuten.
Verwendbarkeit
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.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Prozessrechentechnik	1080

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mählisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

Sinnvoll sind Grundlagenkenntnisse in einer höheren Programmiersprache und in Messtechnik

Qualifikationsziele

Die Studierenden sollen

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

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:

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.

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.
3. Realzeitverhalten: Anforderungen und Softwarearchitektur Verarbeitung mehrerer Prozesse, Rechnerauslastung, Scheduling, Prozessorzuteilung in Mehrprozessorsystemen. Realzeitanforderungen. Prioritätsgesteuertes Scheduling und Deadline Scheduling. Realzeitbetriebssysteme und Programmtechniken für Realzeitsysteme.

Literatur

- Färber G.: Prozessrechentechnik. Grundlagen, Hardware, Echtzeitverhalten. Berlin: Springer, 1994

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 Minuten

Verwendbarkeit

Prozessrechner finden sich in nahezu allen technischen Systemen als programmierbare Steuergeräte. Aber auch viele moderne Anzeige- und Messysteme 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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Einführung in die Klebtechnik	1154

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik, Werkstoffkunde

Qualifikationsziele

- Die Studierenden 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 Fügeteiloberflächen 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 Studierenden in die Lage versetzt, unter Berücksichtigung der Konstruktion von Bauteilen die Eigenschaften und die wichtigsten mechanischen Kennwerte von Klebeverbindungen beurteilen zu können.

Inhalt

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

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

Im Rahmen der Vorlesung werden folgende Themen vermittelt:

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

Leistungsnachweis
Mündliche Prüfung 30 Minuten
Verwendbarkeit
Das Modul "Einführung in die Klebtechnik" liefert das notwendige Basiswissen für die Anwendung der strukturellen Klebtechnik im Leichtbau und bei Reparaturen.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Fahrzeugdynamik	1161

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

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
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 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse, wie sie in Modulen zur „Höheren Mathematik“ oder „Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften“ 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, Optimierungsmethoden, Abhängigkeit von Parametern

Inhalt der Übungen:

- Aufgaben zur Vertiefung, Illustration und Anwendung der Vorlesungsinhalte
- numerische Lösung von Optimalsteuerungsproblemen in der Flugbahnoptimierung mit Softwarepaketen

Literatur

- Gerdts, M. : Optimal control of ODEs and DAEs, DeGruyter Verlag, 2011

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in Modulen aus den Bereichen optimale Steuerung und Luftfahrt.

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester. Es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Luft- und Raumfahrtmedizin für Ingenieure	1176

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr. med. habil. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

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 „Luft- und Raumfahrtmedizin“ beschreibt die verschiedenen Einflüsse sowie die Beanspruchungen und Belastungen in der Luft- und Raumfahrt auf den Menschen. Hierbei wird sowohl Grundwissen über die Funktionen des menschlichen Körpers, als auch die Wirkung der besonderen Belastungen, welche durch den Aufenthalt in Luft- und Raumfahrzeugen verschiedener Leistungsklassen auf den menschlichen Körper entstehen, vermittelt. Im Detail werden folgende Teilbereiche Thema der Vorlesungsreihe sein: • Höhen- und Beschleunigungsphysiologie, • Ergonomie, • die Grundfunktionen des menschlichen Körpers • die Bedeutung der Teilbereiche Augenheilkunde, Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Innere Medizin und Orthopädie in der Flugmedizin, • Fatique, Schichtarbeit, Jetlag, Flugdienst- und Ruhezeiten, • Lufttransport Verwundeter und Kranker (AirMedEvac),

- Flugmedizin unter Einsatzbedingungen in einem Krisengebiet und
- Raumfahrtmedizin.

Literatur

- Kompendium der Flugmedizin (Generalarzt der Luftwaffe + Flugmedizinisches Institut der Luftwaffe)
- Ernsting's Aviation Medicine (Ernsting, Nicholson, Rainford, fourth edition, 2006)

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Maschinendynamik	1191

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden 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 Massenkräfte 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

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
Nichtlineare Finite-Elemente-Methode	1194

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

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 bewerten und anwenden.
Die Studierenden erwerben die Kompetenz, eigenverantwortlich eine nichtlineare FE-Berechnung in Abhängigkeit der zu erwartenden Nichtlinearitäten durchzuführen (ein nichtlineares numerisches Modell im Rahmen einer FE-Software aufzubauen und zu lösen) sowie die Berechnungsergebnisse selbständig zu interpretieren und zu bewerten.

Inhalt

In diesem Modul erwerben die Studierenden umfassende Kenntnisse zur Lösung von Problemstellungen in der nichtlinearen Strukturmechanik.

- Die Studierenden erhalten eine grundlegende Einführung in die Ursachen von Nichtlinearitäten, deren Auswirkungen auf das Tragverhalten der Struktur.
- Die Studiereden lernen anhand exemplarischer Beispiele die mathematische Struktur der Nichtlinearitäten kennen und werden detailliert mit adäquaten Lösungsverfahren, insbesondere dem Newton-Raphson-Verfahren, bekannt gemacht.
- Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zu den geometrischen und physikalischen Nichtlinearitäten.
- Für kontaktbedingte Nichtlinearitäten sowie für die Stabilitätstheorie erlangen die Studierenden einen grundlegenden Überblick.

- In praktischen Übungen lernen die Studierenden den Umgang mit einem FE-Programm (z. B. ANSYS, ABAQUS) und dessen Anwendung auf nichtlineare Aufgabenstellungen.
- Die Studierenden erhalten eine Wiederholung der Beschreibung der Kinematik bei großen Deformationen.
- Den Studierenden wird die Strategie der numerischen Umsetzung eines sowohl geometrisch als auch physikalisch nichtlinearen Randwertproblems vermittelt.

Literatur

- Holzapfel: Nonlinear Solid Mechanics. John Wiley & Sons. Ltd.
- Reddy: An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis. Oxford University
- Bonet, Wood: Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis. Cambridge University Press.
- Wriggers: Nichtlineare Finite-Elemente-Methoden. Springer-Verlag.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

Masterarbeit auf dem Gebiet der numerischen Strukturberechnung.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung	1356

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

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 Modelparametern
- 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)

- Haupt: Continuum Mechanics and Theory of Materials, Springer Verlag
- Betten: Kontinuumsmechanik: Elastisches und inelastisches Verhalten isotroper und anisotroper Stoffe. Mit durchgerechneten Lösungen, Springer Verlag

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

Masterarbeiten auf dem Gebiet der experimentellen Mechanik, der Materialmodellierung sowie der numerischen Simulation im Rahmen von Matlab und der Finite Elemente Berechnung.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/ Thermofluiddynamik	1492

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. habil. Tobias Sander	Wahlmodul	3

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 Aerothermodynamik/Thermofluiddynamik	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

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/ Thermofluiddynamik“ Kenntnisse über die Funktionsweise wesentlicher Bestandteile optischer Messtechniken sowie über den physikalischen Hintergrund, die Anwendbarkeit und die Realisierung von optischen Messverfahren unter den schwierigen Bedingungen von Hochenthalpieströmungen. Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Zunächst werden wesentliche Grundlagen zur Optik wiederholt und in den Bereichen vertieft, die eine besondere Bedeutung für das Verständnis der Lehrinhalte besitzen.

- Anschließend werden die für optische Messverfahren eingesetzten Komponenten anhand deren Funktionsweise erklärt und ähnliche Gerätetypen hinsichtlich deren bevorzugten Einsatzbereichs gegeneinander abgegrenzt.
- Den Abschluss bildet die Beschreibung gängiger optischer Messverfahren. Dabei wird das zugrundeliegende physikalische Prinzip erklärt und der mögliche praktische Einsatzbereich erläutert. Ferner werden typische Messaufbauten gezeigt, die mit den bereits behandelten Komponenten realisiert werden können.
- In einer vorlesungsbegleitenden Laborübung werden die theoretischen Lehrinhalte an realen Messaufbauten vertieft und angewendet.

Literatur

- W. Demtröder: Laserspektroskopie, Grundlagen und Techniken, Springer-Verlag, 1993
- J. Eichler, H.-J. Eichler: Laser, Grundlagen, Systeme, Anwendungen, Springer-Verlag, 1989
- A. C. Eckbreth: Laser Diagnostics for Combustion Temperature and Species, Gordon and Breach Publishers, 1996
- G. S. Settles: Schlieren and Shadowgraph Techniques, Springer-Verlag, 2001

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Fernflugkörper	1516

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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

Verwendbarkeit
Voraussetzung für fachliche Mitarbeit in Gremien der Bundeswehr und relevanter Ministerien für Abrüstung und Rüstungskontrolle sowie bei der Beschaffung von Wehrmaterial.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Auslandsaufenthalt	1519

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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

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

Modulname	Modulnummer
Munich Aerospace	1520

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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

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

Modulname	Modulnummer
Praktische Flugversuchstechnik	1621

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
16211	P	Praktische Flugversuchstechnik	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 Flugversuchsingenieurs.
3. Die Studierenden kennen die wichtigsten elementaren Bestimmungsmethoden für Flugleistungen und Flugeigenschaften.
4. Die Studierenden verstehen die elementaren Gesichtspunkte des praktischen Flugbetriebs.

Inhalt

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

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

Gesichtspunkte behandelt werden: Bestimmung der Flugzeugpolare, Bestimmung des stationären Steigvermögens, Bestimmung von Neutralpunkt und Manöverpunkt.
- Bestimmung der Parameter der Eigenbewegungsformen des Flugzeugs (z.B. Phygoide), Verhalten des Flugzeugs bei Strömungsabriss.
- Die Studierenden lernen in einem letzten Versuchsflug selbstständig entsprechende Flugversuche als Flugversuchsingenieur verantwortlich durchzuführen.

Literatur

- R. C. Nelson, Flight Stability and Automatic Control, McGraw-Hill, 2nd ed., Singapore 1998

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer: 60 Minuten) - 50%
- Auswertung von Flugversuchen - 50%

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Satellitenbetrieb	1622

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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	24	66	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
16221	VL	Satellitenbetrieb	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				2

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 achtes 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.

Gliederung des Moduls:

- Einleitung -Die Bodenstation als nichtfliegendes Subsystem
- Entwurfs- und Schnittstellenanforderungen
- Nachrichtenübertragung und Hochfrequenztechnik
- Nachrichtentechnische Nutzlast
- Satellitenelektronik: Verbindungen, Bauteile, Baugruppen
- Modell- und Testphilosophien
- Bodenhilfsgeräte (MGSE, EGSE)
- Test/Verifikation
- Komplettierung, Startbereitschaft

Literatur

- Hallmann W., Ley W., WittmannK.: Handbuch der Raumfahrttechnik. Hanser Fachbuch, 2007.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

Voraussetzung für den Satellitenentwurf, das Systemdesign und den Betrieb von Satelliten.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Satellitenbetrieb Praxis	1623

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
16231	VL	Satellitenbetrieb Praxis	Pflicht	2
16232	UE	Satellitenbetrieb Praxis		2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				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

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

Systemdesign von Raumflugkörpern, Missionsplanung, Betrieb von Satelliten

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Werkstoffe für militärische Anwendungen	1895

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in Werkstoffkunde.

Qualifikationsziele

- Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden Werkstoffe für bestimmte militärische Anwendungen benennen und deren Einsatzzweck und Funktion erläutern.
- Die Studierenden können für vorgegebene Anwendungsbereiche geeignete Werkstoffe auswählen und wesentliche Anforderungen in Bezug auf die Gestaltung wiedergeben.
- Die Studierenden können die wesentlichen Auswahlkriterien für Werkstoffe in den Anwendungsfeldern "Schutz", "Wirkung" und "Radartarnung" aufzählen sowie Beispiele aus aktuellen Anwendungen benennen.
- Die Studierenden können die Wirkungsweisen von Werkstoffen für Schutzsysteme, Munitionsanwendungen und Radartarnung erklären und für vorgegebene Einsatzgebiete geeignete Werkstoffe auswählen.
- 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.

Inhalt

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:

1. Grundsätzliches zu Werkstoffen für militärische Anwendungen und deren spezifische Einsatzgebiete

2. Schutzanwendungen:
- Anforderungen an Werkstoffe für Schutzanwendungen und Mechanismen bei hochdynamischer Einwirkung
- Werkstoffe für Schutzanwendungen, Metalle, Keramiken
- Verbundwerkstoffe für Schutzanwendungen

3. Wirkanwendungen:

- Anforderungen an Werkstoffe für Wirkanwendungen und deren physikalischer Hintergrund
- Werkstoffe für Wirkanwendungen (Penetratoren, Hohlladungsliner, Treibkäfige)
- Neue Fertigungsverfahren für Wirkanwendungen

4. Radartarnung:

- Wirkungsweise und physikalischer Hintergrund von Radartarnmaterialien
- Werkstoffe für Radartarnmaterialien und deren Herstellung
- Neue Fertigungsverfahren für Radartarnmaterialien

Leistungsnachweis
Mündliche Prüfung 30 Minuten
Verwendbarkeit
Das Modul Werkstoffe für militärische Anwendungen liefert das notwendige Basiswissen für den Einsatz, die Verwendung und das grundlegende Verständnis von speziellen Werkstoffen und Werkstoffverbünden in den Bereichen Schutz, Wirkung und Radartarnung.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen	1896

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Juniorprof. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

Erste Programmiererfahrungen

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden verstehen die methodisch/algorithmischen Grundlagen der wichtigsten KI-Ansätze zur Entscheidungsunterstützung.
2. Die Studierenden verstehen die Komplexität in der Umsetzung der Methoden bzw. Algorithmen.
3. Die Studierenden haben einen Überblick über typische Anwendungsfelder von KI, insbesondere in der Luftfahrt.
4. Die Studierenden sind in der Lage, grundlegende KI-Ansätze für konkrete Anwendungsbeispiele zu konzeptionieren und zu implementieren.

Inhalt

Das Modul besteht aus der Vorlesung "Angewandte Künstiche 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. Pobabilistische Ansätze, z.B. Bayessche Netze, Markov Entscheidungsprozesse

4. Planung bei Unsicherheiten
   - Partiell beobachtbare Umgebungen
   - Planung und Umplanung

5. Grundlagen Maschinelles Lernen, z.B. überwachtes Lernen ("SupervieseLearning"), nicht überwachtes Lernen ("Unsupervised Learning"), verstärkendes Lernen ("Reinforcement Learning"), tiefel 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

Mündliche Prüfung 25 Minuten

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 2026

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	48	42	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
18971	VL	Technische Verbrennung	Pflicht	3
18972	UE	Technische Verbrennung	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 Ressourchen fossiler Brennstoffe erfordern intensive Anstrengungen, um den Ablauf von Verbrennungsprozessen besser verstehen und damit den Prozess

verbessern zu können, beispielsweise zur Entwicklung fortgeschrittener Brennverfahren in der Antriebstechnik, für Gasturbinen, Haushaltsfeuerungen, Industrie- und Prozessfeuerungen.

Im Rahmen der Vorlesung werden folgende Themen vermittelt:

- Thermodynamische Grundlagen (Konzentrationsbegriffe, Heizwerte, Flammentemperaturen, Erhaltungsgleichungen)
- Wirkungsgrade (thermischer, exergetischer, feuerungstechnischer Wirkungsgrad)
- Zündprozesse und Zündkennzahlen (Deflagration, Detonation, Explosion, Zündgrenzen, Zündtemperaturen, Zündverzugszeit, Löschabstand, etc.)
- Kraftstoffe (flüssig, fest, gasförmig, neuartige synthetische und biogene Kraftstoffe) und verbrennungsrelevante Eigenschaften
- Flammentypen (vorgemischt, teilvorgemischt, nicht-vorgemischt)
- Laminare und turbulente Verbrennung, Turbulenzgrößen
- Flammengeschwindigkeit, Flamme-Turbulenz-Interaktion, Borghi-Peters-Bereichsdiagramm, Flammenstabilität und Stabilisierungsmethoden
- Verbrennungsmodellierung, Einführung in numerische Simulation von Strömungen mit Verbrennung
- Schadstoffbildung (Stickoxide, Ruß, Kohlenmonoxid, Furane und Dioxine) und feuerungstechnische Maßnahmen zur Minimierung der Schadstoffemissionen
- Verbrennung von flüssigen und festen Brennstoffen
- Brennverfahren (Brennertypen, Gasturbinen, Motoren- und Raketenantriebe)

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Thermalkontrolle von Raumfahrtsystemen	2322

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
23221	VÜ	Thermalkontrolle von Raumfahrtsystemen	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen
Kenntnisse in Höherer Mathematik, Grundlagen Thermodynamik und Wärmeübertragung.

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
• Übersicht über das Thermalkontrollsystem eines Raumfahrtsystems • Thermodynamische Grundlagen der Thermalkontrolle und der Wärmeleitung • Vorstellung von verschiedenen Methoden zur Lösung der Wärmeleitungsgleichung, stationär und instationär • Ableitung numerischer Methoden aus dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik. Unter anderem die Methode der Blockkapazitäten (lumped-parameter - Methode). • Grenzen und Anwendbarkeit numerischer 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 mehreren Flächen • Numerische Verfahren zur Berechnung des Strahlungsaustausches (Gebhard Methode) • Monte Carlo Verfahren zur Berechnung des Strahlungsaustauschs.

- Beispiele zum Starhlungsausstausch (Albedostrahlung, Hohlräume)
- Vorstellung kommerzieller Softwarepakete.
- Elemente der passiven Thermalkontrolle (Coatings, MLI, SSM, Heat Pipes)
- Elemente der aktiven Thermalkontrolle (Kühlkreisläufe, Pumped Loop Heat Pipes)

Literatur

- Gilmore, Spacecraft Thermal Control Handbook, AIAA, 2002
- Baehr & Stephan, Wärme- und Stoffübertragung, Springer, 2016
- Polifke, Kopitz, Wärmeübertragung, Pearson, 2009
- Siegel, Howell, Thermal Radiation Heat Transfer, CRC-Press, 2020

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

Das vermittelte Wissen ist Grundlage in Industrie-Abteilungen für Entwicklung von Raumfahrtsystemen (bemannte und unbemannte Raumfahrt) sowie von Antrieben.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Sicherheitskritische Systeme	2323

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Dr.-Ing. AkDir Michael Strohal	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23231	VÜ	Sicherheitskritische Systeme	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen
Allgemeine ingenieurwissenschaftliche Grundlagen, Kenntnisse in "Flugsystemtechnik I"

Qualifikationsziele
1. 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. 2. Der/die Studierende kennt die Anforderungen und den Ablauf eines Safety Assessments Prozesses in der Luftfahrt und kennt die dabei beteiligten Organisationen. Der/die Studierende erlernen das Vorgehen eines klassischen Systems Engineerings aus der Perspektive der Sicherheitsanalyse anhand der Entwicklung eines Grundsystems 3. Der/die Studierende lernt die wesentlichen Methoden der Nachweisführung im Zuge eines Safety Assessments Prozesses kennen 4. Der/die Studierende lernt, wie durch Redundanzkonzepte der Ausfall einzelner Systemkomponenten kompensiert werden kann und muss.

Inhalt
Die Lehrveranstaltung befasst sich 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

vorgestellt sowie Analysemethoden wie
- Failure Hazard Analyses,
- Failure Mode and Effects Analysis
- Fault Tree Analyses,
- Dependence Diagram
- Markov Analyses

diskutiert und an einem Beispiel angewendet.

Die Studierenden vertiefen das Wissen zu den grundlegenden Systemen 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 vorgestellten Redundanzkonzepte werden abschließend in einem A320-Simulator Anhand der Grundsysteme Brems- , Hydraulik- , Elektrik- und Flugsteuerung-System vorgestellte. Die Studierenden erarbeiten sich den Systemaufbau des A320 im Selbststudium anhand eines Handouts und fliegen den A320-Simulator im Zuge der Lehrveranstaltung selbst.

Literatur

- Moir I.; Seabridge A.: Aircraft Systems; Wiley, 2008.
- Birrolini; Zuverlässigkeit von Geräten und Systemen; Springer, Berlin, 1997
- SAE ARP 4761; Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
KI-Agenten in der Simulation	2324

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Juniorprof. Dr.-Ing. Jane Jean Kiam	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23241	VL	KI-Agenten in der Simulation	Pflicht	1
23242	UE	KI-Agenten in der Simulation	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

Erste Programmiererfahrungen

Qualifikationsziele

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage,

1. **(Verstehen/Erinnern)** einen fundierten Überblick über Anwendungsfelder zu *beschreiben*
   und *zu erläutern*, in denen Simulationsumgebungen mit intelligenten Agenten eingesetzt werden.
2. **(Verstehen/Anwenden)** modellbasierte Methoden zur Simulation des Verhaltens intelligenter Agenten *zu erklären* und *eigenständig auf gegebene Problemstellungen (Simulationsaufgaben) anzuwenden*.
3. **(Verstehen/Analysieren)** lernbasierte Verfahren zur Simulation intelligenter Agenten *zu erklären,* und *eigenständig auf gegebene Problemstellungen anzuwenden* sowie *ihre Funktionsweise kritisch zu analysieren*.
4. **(Analysieren/Bewerten)** state-of-the-art-KI-Methoden im Kontext der Agentensimulation *zu identifizieren*, *detailliert zu vergleichen* und *hinsichtlich ihrer Eignung zu bewerten*.
5. **(Anwenden/Erschaffen)** intelligente Agenten in einer Simulationsumgebung *zu implementieren*, *zu testen* und *eigenständig eigene Lösungsansätze zu entwickeln*.

Inhalt

Das Modul besteht aus der Vorlesung „KI-Agenten in Simulation“ und den dazugehörigen Übungen.

Die Studierenden erwerben umfassende Kenntnisse über Methoden und praktische Techniken zur Simulation des Verhaltens intelligenter Agenten sowie über die Denkweise, mit der theoretische Konzepte in praxisorientierte Implementierungen überführt werden können.

In diesem Modul
- erhalten die Studierenden eine grundlegende Einführung in die Simulation des Verhaltens intelligenter Agenten und deren Anwendungsfelder,
- werden die Studierenden mit den theoretischen Grundlagen der Simulation vertraut gemacht sowie mit Fragen, warum Simulation menschlichen Verhaltens („Behavorial Simulation“) wichtig ist und in welchen Bereichen sie eingesetzt wird,
- lernen die Studierenden den Aufbau menschlicher kognitiver Architekturen kennen und verstehen, wie diese zur Simulation menschlichen Verhaltens genutzt werden können,
- werden die Studierenden in modellbasierte, lernbasierte und generative Verfahren zur Simulation des Verhaltens intelligenter Agenten eingeführt,
- lernen die Studierenden, die Vor- und Nachteile verschiedener Simulationsansätze kritisch zu analysieren und zu bewerten,
- werden die Studierenden in den begleitenden Übungsstunden mit vertiefenden Simulationsaufgaben
  zur Anwendung der vorgestellten Konzepte vertraut gemacht,
- und haben die Studierenden in den Übungsstunden die Gelegenheit, in Einzel- oder Gruppenarbeit (max. drei Personen) Simulationstechniken für KI-Agenten anhand exemplarischer Anwendungsbeispiele praktisch zu implementieren, wobei sie gängige Softwarebibliotheken und Werkzeuge einsetzen.

Literatur

- A. Newell: Précis of Unified Theories of Cognition. Behavorial and Brain Sciences, Vol. 15, 1992.
- F. Lehman, John Laird, Paul Rosenbloom: A Gentle Introduction to Soar, an Architecture for Human Cognition: 2006 Update
- I. Millington, J. Funge: AI for Games, Elsevier, 2009.
- Game AI Pro, https://www.gameaipro.com/ (S. Rabin’s project).

Leistungsnachweis

Benotung: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen
- Ausarbeitung eines Berichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in dem die Ergebnisse der Programmierungsaufgaben beschrieben und analysiert werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 20 h) - 60%
- mündliche Kenntnisstandabfrage (Dauer: 30 Minuten) - 40 %.

Verwendbarkeit

In jüngerer Zeit werden KI-Techniken zunehmend weiterentwickelt und immer häufiger zur Simulation des Verhaltens intelligenter Agenten eingesetzt. Simulationsumgebungen dienen dabei einerseits der Validierung von Modellen und Verfahren, andererseits werden sie zur Datenerzeugung genutzt, um daraus Entscheidungsstrategien abzuleiten.

Das in diesem Modul erworbene Wissen befähigt die Studierenden, dieses Verständnis in ihrer späteren wissenschaftlichen Tätigkeit (als Entwicklungsingenieurinnen und -ingenieure oder als Forschende) gezielt
anzuwenden und weiterzuentwickeln

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Ausgewählte Kapitel der Regelungstechnik	2325

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23251	VL	Ausgewählte Kapitel der Regelungstechnik	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

Sichere Kenntnis der Inhalte aus folgenden Lehrveranstaltungen: „Höhere Mathematik“ und „Regelungstechnik 1“ des LRT-Bachelorstudiums, sowie „Regelungstechnik 2“, „Multiagentenregelung“, „Moderne Methoden der Regelungstechnik“, „Numerische Mathematik“, „Praktikum Optimale Steuerung“ und „Optimale Steuerung und Regelung“.

Qualifikationsziele

Nach Bestehen können die Studenten und Studentinnen

1. regelungstechnische Aufgabenstellungen mathematisch formalisieren und geeignete Lösungsmethoden begründet auswählen und anwenden;
2. zentrale, regelungstechnische Aufgabenstellungen betreffende Resultate und Lösungsmethoden angeben (einschließlich ihrer Gültigkeitsvoraussetzungen und Grenzen) und herleiten;
3. offene Forschungsfragen benennen, präzise formulieren und von bekannten Resultaten abgrenzen.

Inhalt

Aktuelle Forschungsergebnisse in ausgewählten Teilgebieten der Regelungstechnik, wie u.a. nichtlineare Regelungssysteme, Stabilitätsfragen, ereignisdiskrete Regelungen, hybride und abstraktionsbasierte Regelungen, Optimierungsverfahren zur Reglersynthese. Zu jedem Forschungsergebnis werden vermittelt:

- Problemstellung, Einordnung, Motivation
- Stand der Forschung
- Mathematische Grundlagen mit Herleitungen
- Hauptresultate
- weiterführende Forschungsfragen

Literatur
• E. Sontag, "Mathematical Control Theory", Springer 1998. Weiterführende, spezialisierte Literatur wird während der Dauer des Moduls bekanntgegeben.
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 150 Minuten ohne Hilfsmittel.
Verwendbarkeit
Voraussetzung für spätere eigenständige Untersuchungen von theoretischen und angewandten Fragestellungen der Regelungstechnik; keine Voraussetzung für andere Module.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Betrieb von Luftfahrzeugen	2329

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Oberst Dr. Ekkehard Stemmer	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23291	VL	Betrieb von Luftfahrzeugen	Pflicht	2
23292	VL	Verteidigungsbeschaffung	Pflicht	1
23293	VL	Technischer Betrieb und Instandhaltung von Luftfahrzeugen	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Qualifikationsziele

Nach der Teilnahme an diesem Modul sind die Studierenden in der Lage,

1. die Nutzung von Luftfahrzeugen in der Bundeswehr in das System Bundeswehr einzuordnen,
2. die Haushaltssystematik des Bundes zu beschreiben,
3. die Grundsätze des Vergaberechts zu nennen,
4. die einzelnen Phasen der produktbezogenen Bedarfsdeckung und Nutzung zu erklären und auf Fallbeispielen anzuwenden,
5. die Regularien der DEMAR zu erklären und auf Fallbeispielen anzuwenden.
6. die Grundsätze des technischen Betriebs und der Instandhaltung von Luftfahrzeugen zu benennen und zu wesentlichen Aspekte zu erklären.
7. zu verstehen, wie der öffentliche Sektor beschafft,
8. die Instrumente einer strategischen Beschaffung und eines Lieferkettenmanagements innerhalb (vergabe)rechtlicher Rahmenbedingungen zum Einsatz zu bringen
9. zentrale Aspekte einer Vertragsgestaltung mit Lieferanten zu bewerten.

Inhalt

Den Studierenden wird im Modul "Betrieb von Luftfahrzeugen" ein vertiefendes Grundwissen über den Betrieb von Luftfahrzeugen vermittelt, um so ein breites Verständnis über die Voraussetzungen und die Anforderungen für Betrieb von Luftfahrzeugen zu erlangen.

Auf dieser Grundlage werden die Studierenden in der Lage sein, sich in komplexe Vorgänge zu deren Betrieb sowie zur Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit einzuarbeiten, luftrechtliche Fragestellungen zu bewerten und Lösungsansätze zu erarbeiten.
Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

1. Einordnung der Nutzung in das System der Bundeswehr
   - Gliederung des BMVg
   - Das Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung
   - Die Kommandobehörden der Luftwaffe
   - Das Luftfahrtamt der Bundeswehr

2. Grundlagen der Haushaltssystematik des Bundes
   - Die Haushaltsgrundsätze
   - Die Haushaltssystematik (Gesamtplan, Einzelplan, Kapitel, Titel)
   - Der Haushaltsaufstellungsprozess

3. Grundlagen des Vergaberechts
   - Grundlagen des Vergaberechts
   - Von der fachtechnischen Forderung zum Vertragsabschluss

4. Grundlagen der Produktbezogenen Bedarfsdeckung und Nutzung (PBN)
   - Die einzelnen Phasen des PBN
   - die Projektelemente

5. Das Projektelement Logistik
   - Die Bestandteile des Technisch Logistischen Managements

6. Luftrechtliche Grundlagen
   - Von der ICAO zur DEMAR
   - Der zivile/militärische Prozess zum lufttüchtigen Luftfahrzeug
   - Die Realisierung nach ZDv A-1500/3
   - Militärische Rollen und Funktionsträger
   - Genehmigung/Anerkennung von Organisationen, Betrieben und Einrichtungen
   - Produktvergleich der Regelungsräume

7. Verteidigungsbeschaffung / Defence Supply Management
   - Öffentliche Wertschöpfung und Leistungstiefenentscheidung
   - Charakteristika öffentlicher Beschaffung
   - Von der öffentlichen Beschaffung zum Defence Supply (Chain) Management
   - Grundmodell des Defence Supply Management
   - Verteidigungsbeschaffung und politische Agenda
   - Strategische Ziele, strategisches Management und Beschaffungsstrategie
   - Prozessmodell
   - Phase I: Bedarfsmanagement und Markterkundung (ex ante Vergabe)
   - Phase II: Vergabe
   - Phase III: Nutzung und Verwertung (ex post Vergabe)
   - Erfolgsdimensionen: Von Wirtschaftlichkeit zu Defence Performance
   - Erfolgsmessung und Performance Based Contracting
   - Digitalisierung des Defence Supply Management

8. Technischer Betrieb und Instandhaltung von Luftfahrzeugen
   - Strukturbeanspruchungen im Flugbetrieb (Lastannahmen, Ermüdung, Schädigungsakkumulation)
   - Bedeutung der Betriebsfestigkeit und Lebensdauerabschätzung
   - Inspektions- und Instandhaltungskonzepte in Abhängigkeit von Strukturmaterial und Bauweise
   - Zustandsorientierte Instandhaltung (Condition-Based Maintenance, SHM)

Literatur

- Hinsch, M.: Industrielles Luftfahrtmanagement: Technik und Organisation luftfahrttechnischer Betriebe. Hamburg: Springer Vieweg Verlag, 2022.
- Hinsch, M.; Richter, R.: Das europäische Luftrecht zur Instandhaltung verstehen und sinnvoll umsetzen: Einführung in den EASA Part 145 und Part CAMO. Hamburg: Springer Vieweg, 2023.
- Hinsch, M. et al: Einführung in die DEMAR: Strategien und Umsetzung des Zulassungswesens für Luftfahrzeuge der Bundeswehr. Hamburg: Springer Vieweg, 2022.
- BMVg Rü I 1: A-1500/3 Version 3 - Produktbezogene Bedarfsdeckung und Nutzung. Bonn: 2024.
- BMVg RO III 2: Pocket Guide Vergaberecht - Beschaffungen in der Bundeswehr. Bonn: 2024.
- BMF: Das System der öffentlichen Haushalte. Berlin 2015.
- Leibinber, B.; Bau, D.: Das Haushaltsrecht des Bundes - Eine Einführung. Heidelberg: BMIH 2021.
- van Weele, A. J./Eßig, M. (2017). Strategische Beschaffung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Burgi, M. (2021), Vergaberecht: Systematische Darstellung für Praxis und Ausbildung, 2. Auflage, München 2021.
- Eßig, Michael (2018), Öffentliche Beschaffung, in: Corsten, H./Gössinger, R./ Spengler, T.S. (Hrsg.), Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken, Berlin/Boston 2018, S. 487-501.
- Glas, A. H. (2025). Einbindung des Lebenszyklusmanagements in eine umfassende Beschaffungskonzeption am Beispiel des Defence Acquisition & Supply Management, in: Eßig, M./von Deimling, C. (2025), Lebenszykluskostenmanagement: Strategische (Kosten-) Steuerung komplexer Beschaffungsvorhaben (S. 83-98). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Ritz, A./Thom, N. (2019), Public Management: Erfolgreiche Steuerung öffentlicher Organisationen, Wiesbaden 2019.
- Eßig, Michael/Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V. (Hrsg.2013), Exzellente öffentliche Beschaffung: Ansatzpunkte für einen wirtschaftlichen und transparenten öffentlichen Einkauf, Wiesbaden 2013.
- Patrucco, A. S./Luzzini, Davide/Ronchi, Stefano/Eßig, Michael/Amann, Markus/ Glas,Andreas H. (2017), Designing a Public Procurement Strategy: Lessons from LocalGovernments, in: Public Money & Management, Jg. 37 (2017), Nr. 4, S. 269-276.

Leistungsnachweis
Mündliche Prüfung 30 Minuten.
Verwendbarkeit
Das Modul liefert das notwendige Basiswissen zur Wahrnehmung von Aufgaben im Betrieb von Luftfahrzeugen auf Ebene eines fliegenden Verbandes, im Zusammenhang mit der planbaren Instandhaltung bei der Industrie sowie in der CAMOBw.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugzeugbau	3000

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

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)

2. Flächentragwerke, Stabilität und Beanspruchung der Gesamtstruktur
   1. Flächentragwerke (die Scheibe, die biegesteife Platte, die biegeschlaffe Platte oder Membran, die biegeweiche Platte, biegeschlaffe Schalen, Membranschalen, Biegetheorie der Kreiszylinderschale, Biegetheorie anderer Rotationsschalen)
   2. Stabilität (Stäbe und Balken, Schalen)
   3. Ermittlung der Beanspruchung für Gesamtstrukturen (Allgemein, Entwicklung der Berechnungsmethoden, Kraft- und Verformungsmethoden, Methoden der Finiten Elemente (FEM), Hinweise zur Idealisierung)

3. Berechnung von Baugruppen
   1. Einleitung
   2. Großbaugruppen
   3. Flügel- und Leitwerksberechnung(Ausgangsdaten, Schnittgrößen, Baugruppen des Flügels und der Leitwerke, Hinweise zur Idealisierung)
   4. Rumpfberechnung (Ausgangsdaten, Schnittgrößen, Baugruppen des Rumpfes, Hinweise zur Idealisierung)
   5. Berechnung von Türen und Toren (Ausgangsdaten, Schnittgrößen, Baugruppen der Türe und Tore, Hinweise zur Idealisierung)
   6. Beanspruchung in Niet- und Bolzenverbindungen (Stebverbindungen unter Wirkung von Moment, Längs- und Querkraft, Gurtverbindungen (Laschen) unter Längskraft)
   7. Geklebte Verbindungen (Ausbildung von Klebeverbindungen, Einschnittige Überlappung unter Längskraft ohne Schälspannung, Einschnittige Überlappung unter Längskraft mit Schälspannung, Vergleich und Hinweise)

Literatur

- Niu, Michael C.Y., Airframe stress analysis and sizing
- Niu, Michael C.Y., Composite Airframe structures
- Wiedemann, J.; Leichtbau - Elemente und Konstruktion
- Pflüger, A., Stabilitätsprobleme der Elastostatik

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in Modulen aus den Bereichen Bauweisen und Werkstoffe.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Entwicklungsmanagement	3489

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Koch	Wahlmodul	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
34891	VL	Entwicklungsmanagement	Pflicht	4
34892	UE	Entwicklungsmanagement	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Qualifikationsziele

Viele Studierende des Studiengangs werden im Verlauf ihrer Karriere Projektleiter oder Manager in der Produktentwicklung oder der Forschung. Nach erfolgreicher Teilnahme an diesem Modul sind die Studierenden in der Lage,

- komplexe Entwicklungsmanagement-Situationen zu analysieren und systematisch Handlungsoptionen für die Leitung von Projekten und Organisationsbereichen abzuleiten,
- Methoden und Strategien des Technologie-, Innovations- und Produktmanagements kritisch zu bewerten und situationsangemessen für verschiedene Organisationsformen und Marktbedingungen auszuwählen,
- integrierte Entwicklungskonzepte zu entwickeln, die digitale Transformation, Plattformstrategien und moderne Systems Engineering-Ansätze berücksichtigen,
- auf Basis methodischer Grundlagen eigenständig innovative Lösungsansätze zu kreieren und diese hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit in der Praxis zu evaluieren.

Inhalt

Vorlesungsinhalte

Grundlagen des Entwicklungsmanagements

- Entwicklungsmanagement in technologieintensiven Branchen
- Herausforderungen physischer Produktentwicklung in der Luft- und Raumfahrt
- Rollen von Entwicklungs- und Produktmanagern (u. a.)
- Strategische Einordnung in Unternehmensprozesse

Technologiemanagement

- Technologiestrategien und -portfolio-Management

- Technologiefrüherkennung, -bewertung und Technology Readiness Levels (TRL)
- Technologietransfer, -integration und IP-Schutz
- Digitale Transformation: Digital Twins, MBSE und KI-unterstützte Entwicklung

Produktmanagement

- Produktstrategie, -vision und Requirements Engineering
- Markt- und Stakeholder-Analyse für komplexe technische Produkte
- Produktarchitektur und Plattformstrategien
- Produktlebenszyklusmanagement und Go-to-Market-Strategien

Innovationsmanagement

- Innovationsstrategien und -prozesse (Stage-Gate vs. agile Ansätze)
- Design Thinking und Human-Centered Innovation
- Innovation Ecosystems und Open Innovation
- Kostenmanagement in der Entwicklung (Design-to-Cost, Value Engineering)

Übungsinhalte

- Durchgängiges Fallstudienbeispiel zur Transferanwendung von Prozessen im Rahmen des Entwicklungsmanagements über alle drei Themenblöcke (Technologie-, Produkt- und Innovationsmanagement)
- Reale Case Studies aus der Industrie zur praktischen Vertiefung der Vorlesungsinhalte und Demonstration von Entwicklungsmanagement-Herausforderungen
- Interaktive Podiumsdiskussionen zu den Hauptthemenblöcken mit Fokus auf Aufgaben und Verantwortlichkeiten von Projektleitern in Technologie- und Innovationsentwicklung
- Praktische Übungen zur Anwendung methodischer Ansätze und Entscheidungstools des Entwicklungsmanagements

Literatur

- Bullinger, H.-J.: Einführung in das Technologiemanagement – Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Springer-Verlag, 2013
- Schuh, Günther, Innovationsmanagement: Handbuch Produktion und Management 3. 2. Auflage. Springer Vieweg, 2012
- Ehrenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 6. Auflage. Hanser Fachbuchverlag, 2017
- Lindemann, U.: Handbuch Produktentwicklung. Hanser Fachbuchverlag, 2016
- Albers, S.; Gassmann, O. (Hrsg.): Handbuch Technologie-und Innovationsmanagement. 2. Auflage. Springer Gabler, 2015.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten. Als Hilfsmittel ist ein einseitig handschriftlich beschriebenes DIN-A4-Blatt zugelassen, das mit der Prüfung abgegeben werden muss.

Verwendbarkeit
Das Modul *Entwicklungsmanagement* ergänzt die Lehrveranstaltung Methoden in der Produktentwicklung um die organisatorische Sicht auf Produktentwicklungsprozesse und deren Einordnung in den Unternehmenskontext.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Die deutsche Raumfahrt - Bedeutung, Politik, Struktur	3508

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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	48	42	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
35081	VL	Die deutsche Raumfahrt – Bedeutung, Politik, Struktur	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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

- Die militärische Weltraumnutzung in Deutschland (Raumfahrtprojekte der Bundeswehr)
- Digitalisierung und Industrie 4.0
- Raumfahrttrends

Literatur

- Die Raumfahrtstrategie der Bundesregierung

Leistungsnachweis

Notenschein, bestehend aus:
- Gruppenarbeit, 4 Wochen
- Präsentation, 15 Minuten pro Teilnehmer
- Elevator-Pitch, 5 Minuten

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 1 Trimester, es wird als Blockveranstaltung im Herbsttrimester durchgeführt

Modulname	Modulnummer
Schadensanalyse an militärischen Werkstoffen	3689

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse in Werkstoffkunde/Chemie, Experimentalphysik und Technischer Mechanik.

Qualifikationsziele

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

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul "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 Lebensdauerverlängerung von Bauteilen und militärischen Waffensystemen vertraut gemacht.

Literatur

- VDI Richtlinie 3822 Blatt 1: Schadensanalyse - Grundlagen, Begriffe, Definitionen- Ablauf einer Schadensanalyse.
- Jones R.: Mechanics of Composite Materials. Washington D.C.: Scripta Book Company, 1975.
- Sellier K.: Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen. Springer-Verlag, 2001.
- Brendl H.: Wissensspeicher Tribotechnik. Fachbuchverlag Leipzig, 1988.
- Hofmann H.: Verfahren der Oberflächentechnik: Grundlagen - Vorbehandlung - Beschichtung - Oberflächenreaktionen - Prüfung. Hanser Fachbuchverlag. 2004.
- Steeb S.: Zerstörungsfreie Werkstück- und Werkstoffprüfung. Die gebräuchlichsten Verfahren im Überblick. Ehningen bei Böblingen: Expert Verlag, 1993.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 20 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Schlußfolgerungen aus bereits aufgetretenen Bauteilschäden auf.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	3830

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

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

Workload in (h)	Präsenzzeit in (h)	Selbststudium in (h)	ECTS-Punkte
90	48	52	3

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38301	VL	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Pflicht	3
38302	UE	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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

- Einführung, Definition, Phänomenologie
- Entstehung der Turbulenz
- Grundlagen der ausgebildeten Turbulenz
- Turbulenzmodelle
- Statistische Beschreibung der Turbulenz
- Turbulente Scherströmungen
- Turbulente Strömungen in den Ozeanen und der Atmosphäre
- Experimentelle Analyse turbulenter Strömungen

Literatur

- Vorlesungsfolien
- Franz Nieuwstadt et al., Turbulence, Springer, 2015
- Stephen B. Pope, Turbulent Flows, Cambridge, 2000

Leistungsnachweis
Mündliche Einzelprüfung mit 30 Minuten Dauer ohne Hilfsmittel.
Verwendbarkeit
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.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert 1 Trimester. Es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte	3910

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Roger Förstner Dr. e.H. Thomas Reiter	Wahlpflicht	4

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen
Keine

Qualifikationsziele
• Der/die Studierende kennt das Spektrum europäischer Raumfahrtaktivitäten im Zusammenhang mit den Programmen der europäischen Raumfahrtagentur ESA, sowie den gemeinsamen ESA-EU-Programmen • Der/die Studierende kennt die Phasen und die dazugehörigen Inhalte/Abläufe einer astronautischen Raumfahrtmission • Der/die Studierende kennt europäische Explorations- und Wissenschaftsmissionen und deren Zielsetzungen • Der/die Studierende versteht die natürlichen und anthropogenen Risiken in der Raumfahrt (RF-Rückstände, Weltraumwetter und erdnahe Asteroiden „Near Earth Objects“) • Der/die Studierende erhält einen Überblick der wirtschaftlichen und finanziellen Aspekte europäischer Raumfahrtaktivitäten

Inhalt
Folgende Themenbereiche sollen im Rahmen der Vorlesungsreihe in insgesamt 12 Blöcken behandelt werden: • Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten • Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von astronautischen Raumfahrtmissionen (3 Blöcke) • Forschung an Bord der ISS

- Die Exploration des Mondes und des Mars – internationale Partner und die Rolle Europas (2 Blöcke)
- Überblick der Wissenschafts- und Erdbeobachtungsmissionen ESA
- Satellitenbetrieb – Überblick der Aufgaben des ESOC
- Space Safety and Security – Sicherheit im- und aus dem Weltraum (2 Blöcke)
- Wirtschaftliche Aspekte der Raumfahrt

Literatur

- Die Konvention der ESA
- ESA Agenda 2025
- Eine neue EU-Raumfahrtstrategie für Europa
- ESA'S Annual Space Environment Report

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten.

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt. Das Modul wird als Blockvorlesung durchgeführt.

Modulname	Modulnummer
Elektrische Antriebe für Satelliten	6066

Konto	Wahlmodule alle - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Schein	Wahlpflicht	5

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
60661	V/Ü/P	Elektrische Antriebe für die Satellitentechnik	Wahlpflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Voraussetzungen laut Prüfungsordnung
keine
Empfohlene Voraussetzungen
Grundlegende Kenntnisse der Elektrotechnik, Physik, wie im B.Sc. Studium vermittelt.

Qualifikationsziele

Der/die Studierende erwirbt die Kompetenz nach erfolgreichem Besuch dieses Kurses in der Lage zu sein, die Probleme der Antriebstechnik als Teil eines Gesamtsystems zu sehen und einzuordnen. Er/sie wird in die Lage versetzt mit Grundbegriffen der Satellitenantriebstechnik umgehen zu können und die Unterschiede verschiedener Systeme zu erkennen und bewerten. Die Studierenden können Missionsgrundlagen bewerten und auf Basis dieser Bewertung qualifizierte Entscheidungen für die Definition der Randbedingungen für ein Antriebssystem durchführen. Der Satellitenantrieb als Beispiel für eine technologische Entwicklung, die durch bestimmte Randparameter, wie Gewicht, Lebensdauer, Energieverbrauch, Schubanforderungen, eingegrenzt wird, ist typisch für eine industrielle Entwicklung. Es werden die Grundlagen dafür gelegt, eine solche Aufgabe zu lösen, und selbstständig das bestmögliche System für eine bestimmte Anwendung zu finden.

Dieser Studiengang erweitert das physikalische Basiswissen der Studenten in den Bereich der Plasmaphysik, und erweitert den Horizont der EIT Studenten in Bezug auf die Transparenz der Ingenieurwissenschaften. Es wird gezeigt, wie sehr die Elektrotechnik auch z. B. Teil der Raumfahrttechnik ist.

Inhalt

In diesem Modul werden die Studierenden mit den Grundlagen und Technologien auf dem Gebiet der elektrischen Satellitenantriebe bekannt gemacht. Dieses beinhaltet auch die Grundlagen zur Analyse von Raumfahrtmissionen. Sie erhalten Kenntnisse zum

Einsatz dieses Wissens und zur Methodik der Auswahl geeigneter Antriebssysteme für spezielle Missionsanforderungen.

- Sie erhalten eine Einführung in grundlegende Begriffe der Antriebstechnik
- Auf Basis dieser Grundlagen werden in exemplarischer Weise Fragestellungen zur Missionsdurchführung eingeführt.
- Anhand von Beispielen einfacher chemischer Antriebstechnik lernen die Studierenden theoretische Ansätze zur Evaluation der Funktionseffizienz eines Antriebssystems kennen.
- Die elektrische Antriebstechnik als Erweiterung der Möglichkeiten für Missionszenarien wird eingeführt.
- Verschiedenste Verfahren der elektrischen Antriebstechnik werden anhand exemplarischer Beispiele sowohl theoretisch als auch praktisch bekannt gemacht.
- Methodiken und Analyseverfahren zur Auswahl geeigneter Antriebssysteme werden vermittelt.
- An geeigneten Fragestellungen werden Kenntnisse zur Anwendung der Auswahlverfahren abhängig von Missionsparametern trainiert.

Basierend auf vertieftem plasmaphysikalischen Verständnis und dem Verstehen und Erlernen von Grundbegriffen der Antriebstechnik werden Kompetenzen und Methoden für selbstständige Berechnung und Dimensionierung elektrischer Antriebssysteme für spezielle Raumfahrtmissionen vermittelt.

Literatur

- R.G. Jahn: Physics of electric propulsion, 9780486450407, 2006, Dover Publication
- D. Goebel, I. Katz, Electric Propulsion 9780470429273, 2022 John Wiley & Sons

Leistungsnachweis

Mündliche Modulprüfung (30 min)

Verwendbarkeit

- „Wahlpflichtmodul im Studiengang EIT M.Sc. die Studienrichtung SKE“
- „Wahlpflichtmodul im Studiengang EIT M.Sc. die Studienrichtung EET“
- „Wahlpflichtmodul MINT“

Dauer und Häufigkeit

1 Trimester, in jedem FT

Modulname	Modulnummer
Masterarbeit LRT	1096

Konto	Masterarbeit - LRT 2026

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

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

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 bewertet. Weitere Details werden vor Aufnahme der Masterarbeit durch die Prüferin bzw. den Prüfer festgelegt.
Verwendbarkeit
Das Modul Masterarbeit stellt den Abschluss des Master-Studiengangs 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 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dragan Kožulovi#	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Modulen "Luftfahrtantriebe" und "Antriebskomponenten" vermittelt werden.

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- kennen die üblichen Messverfahren und Messgeräte für experimentelle Untersuchungen von Flugantrieben und deren Komponenten,
- kennen die möglichen Fehlerquellen im Komponenten- und Triebwerksversuch und können die Auswirkungen dieser Fehlerquellen abschätzen und bewerten,
- sind in der Lage, einfache Versuche an Turbomaschinen selbstständig durchzuführen und auszuwerten,
- können die Messergebnisse einschätzen, mit der Theorie vergleichen und sind in der Lage, sich mit den Messergebnissen kritisch auseinanderzusetzen.

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" vermittelt und experimentell vertieft. Dies betrifft insbesondere das Betriebsverhalten sowie die Betriebsbereichsgrenzen.

- 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.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:
- Praktikum besteht aus einer Einführungsveranstaltung und 4 Praxisterminen
- Ausarbeitung eines Berichts in Gruppenarbeit (3-4 Personen je Gruppe), in dem von jeder Gruppe alle Praktikumsversuche in Berichtsform beschrieben und analysiert werden (Nettobearbeitungszeit: 8-15h, Umfang ca. 20-30 Seiten) - 66%
- Durchführung einer schriftlichen Kompetenzüberprüfung von 60 min (Nachweis der Individualleistung) - 34%

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Autonome Systeme	1179

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mähllisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

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 Reglung" 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 prädizieren.

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

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Anfertigung eines Projektabschlussberichtes (Umfang: ca. 20-30 Seiten, Nettobearbeitungszeit: 10h) - 70%
- Teilnahme an einem Wettbewerb der Teams untereinander (Präsentations- bzw. Demonstrationsdauer 45 Minuten) - 30%

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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Flugführungssysteme	1180

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

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

Situation Indicator“), konventionelle Bedienelemente einschließlich FCU („Flight Control Unit“), Autopilotenfunktionen und Einrichtungen zur Funknavigation.
- 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.
- 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.
- 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.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:
- Bewertung von Vorbereitung, Durchführung, schriftliche Nachbereitung je Versuch
- 4 Versuche je 25%

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Fluiddynamik	1181

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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: Fluiddynamik	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

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 Fluiddynamik 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 Fluiddynamik" 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

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

1. Bearbeitung von Aufgaben im Rahmen von 8 Praktikumsversuchen - 40%
2. Anfertigung von 3 Praktikumsberichten (Bearbeitungsdauer: 1 Woche, Umfang 4-6 Seiten) - 40%
3. Ausarbeitung und Präsentation eines Seminarvortrags über einen Praktikumsversuch (Vorbereitungszeit: ca. 5h, Dauer: ca. 15 Minuten) - 20%

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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Luftfahrttechnik	1183

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
MA-Modul "Flugsystemtechnik I & II"

Qualifikationsziele
1. Die Studierenden erlernen den Umgang mit unbemannten Fluggeräten sowie notwendige Vorgehensweisen und Richtlinien für den Betrieb dieser. 2. Die Studierenden verstehen die Bedienung der im Labor eingesetzten Komponenten und Laborausstattung. 3. Die Studierenden können Versuche zur Luftfahrtsystemtechnik selbstständig aufbauen, durchführen und auswerten.

Inhalt
Versuch 1: UAV – Antriebssystem: Die Studierenden übertragen Wissen über Antriebssysteme von bemannten Luftfahrzeugen auf ein unbemanntes Multirotor-System. Sie erarbeiten sich ein Verständnis für das Energie- und Antriebssystem bei kleinen, elektrisch betriebenen UAVs. Relevante Zusammenhänge werden mittels praktischer Versuche hergeleitet und untersucht. Gewonnene Kenntnisse werden in einem Flugversuch angewendet. Versuch 2: UAV – Flugplanungs- und Navigationssysteme: Die Studierenden vertiefen ihre Kenntnisse über die Funktionsweise gängiger Navigationssensorik und Navigationstechniken für UAVs. Zusätzlich wird Wissen über Techniken zur Flugplanung und Hindernisvermeidung vermittelt. Die erlernten Methoden werden in Flugversuchen mit UAVs angewendet. Der Fokus der Versuche liegt auf der Routenplanung und Navigation mittels verfügbarer Informationen und der Sensorik auf dem unbemannten Fluggerät. Das gewonnene Wissen kann auf die Durchführung von Flügen mit anderen UAVs und Flugkörpern übertragen werden.

Versuch 3: UAV – Missionssensorik:

Die Studierenden wenden Wissen über Missionssensorik, welche als Nutzlast an unbemannten Flugsystemen verbaut werden, in der Praxis an. Sie vertiefen ihr Wissen in Bildverarbeitungs- und Bilderkennungsmethoden. Die Studierenden verwenden die Methoden zur Positionierung des UAVs anhand von visuellen Markern. Im Weiteren erarbeiten die Studierenden sich ein Grundverständnis für neuronale Netze zur Objektdetektion. Die angeeigneten Grundlagen werden mittels eines praktischen Versuches mit der Flughardware angewendet.

Leistungsnachweis
Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen: • Durchführung mehrerer Praktikumsversuche inklusive Versuchsauswertung und Dokumentation (100%)
Verwendbarkeit
Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Raumfahrttechnik	1184

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Grundlegende physikalische Kenntnisse auf dem Gebiet der Mechanik, der Thermodynamik und Elektrizitätslehre sowie in der Raumfahrtsystemtechnik.

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können die ausgewählten Versuche selbstständig definieren, aufbauen und durchführen.
- Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der unterschiedlichen in den Versuchen eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.
- Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen in den Versuchen kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum "Raumfahrttechnik" praktische Kenntnisse und Fertigkeiten zu raumfahrtspezifischen Experimentiermöglichkeiten, Qualifikationstests und Simulationstechniken. Hierzu wird im Einzelnen schwerpunktmäßig aus den folgenden Inhalten ausgewält:

- Simulationen und Versuche zur Steuerung und Regelung von Raumfahrzeugen.
- Simulation der Weltraumumgebung und Testverfahren dazu sowie der Veranschaulichung und dem Verständnis dienende Grundlagenversuche und Analysen.
- Grundlegende Versuche zur extremen Strukturbelastung durch Triebwerksschub.
- Simulation des Satellitenbetriebs mit praktischen Übungen dazu.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

Je Versuch:

- schriftliche Vorbereitung von Fragen aus der Versuchsbeschreibung - 25%
- mündliche Abfrage theoretischer Grundlagen 30 min - 25%
- Erstellung eines Versuchsbericht (Dauer: 1 Woche, Umfang: ca. 15-25 Seiten) - 50%

Verwendbarkeit
Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Regelungstechnik	1185

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	4

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
11851	P	Apparatives Praktikum: Regelungstechnik	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der Inhalte aus folgenden Lehrveranstaltungen: "Regelungstechnik 1" des LRT-Bachelorstudiums, sowie "Regelungstechnik 2" und "Multiagentenregelung".

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind in der Lage, die nötigen Schritte zur erfolgreichen Entwicklung von Regelungsalgorithmen für vernetzte und automatisierte Fahrzeuge selbstständig durchzuführen.
- Die Studierenden lernen den Einfluß von Faktoren wie nichtlineares Verhalten der Regelstrecke und Meßfehler 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 und 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 Regelungssystemen in vernetzten und automatisierten Fahrzeugen. 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 2" 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 rechnergestützen 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.

Literatur

- R. Rajamani: Vehicle Dynamics and Control. 2. Auflage, Springer, 2005.
- S. Boyd and L. Vandenberghe. Convex Optimization. Cambridge University Press, 2004.
- J. Maciejowski. Predicitve Control with Constraints. Prentice Hall, 2002.
- D. Simon. Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches. John Wiley & Sons, 2006.
- D. Abel, A. Bollig. Rapid Control Prototyping. Springer, 2006.

Leistungsnachweis

Portfolio mit folgenden Teilleistungen:

- Durchführung mehrerer Praktikumsversuche (30%)
- Anfertigung von Versuchsberichten (Dauer jeweils 1-2 Wochen, Umfang jeweils ca. 5 Seiten) für die Versuche (30%)
- Präsentation der Versuchsergebnisse in einem Kolloquium (Dauer 20 Minuten) (40%)

Verwendbarkeit

Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Thermodynamik	1187

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

MA-Modul "Aerothermodynamik"

MA-Modul "WSÜ"

Qualifikationsziele

- Die Studierenden erwerben die Kompetenz, Messdaten z.B. zur Ermittlung der Temperatur qualitativ wie auch quantitativ zu bewerten.
- Die Studierenden lernen die diversen Fehlerquellen bei der Messdatenerfassung kennen und können den Einfluss dieser Fehler auf das erwartete Ergebnis abschätzen.
- Die Studierenden verstehen die Anwendung und die Bedienung der eingesetzten Messverfahren bzw. Messgeräte.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Differenzen umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum "Thermodynamik" praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf den Aufbau und die Durchführung von Messungen an thermodynamischen Systemen. Hierzu zählen beisielsweise die folgenden Inhalte:

- Die Studierenden erhalten eine grundlegende Einführung in die Thermometrie, dazu gehört insbesondere die Verwendung von Thermoelementen und Widerstandsthermometern.
- Die Studierenden werden mit den Grundlagen der Thermographie bekannt gemacht unter Verwendung einer Infrarotkamera.
- Die Studierenden erwerben umfassende Kenntnisse in der Erfassung von zeitlich kritischen Phänomenen am Stoßrohr.

- 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.
- Das erworbene Wissen wird vertieft anhand weiterer (aero)thermodynamischer Apparaturen, die sich auf Fragestellungen wie die Energieumwandlung und den Energietransport in Hochgeschwindigkeitsströmungen beziehen.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Anfertigung von Berichten zu den Versuchen (Bearbeitungszeit: je ca. 1 Woche, Umfang ca. 25-30 Seiten) – 34%
- Diskussion der Versuchsergebnisse und Kenntnisnachweis im Rahmen eines Kolloquiums (je 1h) – 66%

Verwendbarkeit

Besseres Verständnis der vermittelten Studieninhalte und gleichzeitig praktische Vertiefung der erworbenen theoretischen Erkenntnisse.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Projekt	1188

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

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

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

Empfohlene Voraussetzungen
Alle Fachmodule des Master-Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik, die für die Bearbeitung der jeweiligen Problemstellung erforderlich sind.

Qualifikationsziele
Der Studierende erhält Einblick in aktuelle Forschungsarbeiten der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik. Er ist vertraut mit den zur Bearbeitung solcher Fragestellungen erforderlichen wissenschaftlichen Methoden. Er ist in der Lage, eine Problemstellung aus diesem Bereich unter Anleitung zu analysieren, klar darzustellen und einen Lösungsweg aufzuzeigen.

Inhalt
Selbstständige Bearbeitung einer umfangreicheren Problemstellung aus einem Bereich der Luft- und Raumfahrttechnik. Die Arbeit kann theoretischer, experimenteller oder konstruktiver Natur sein. Im Vordergrund steht die Erarbeitung von Ergebnissen unter Anwendung wissenschaftlicher Methoden sowie die Präsentation der Ergebnisse. Das Projekt kann auch in Gruppen bearbeitet werden.

Leistungsnachweis
Der konkrete Leistungsnachweis wird durch die Modulverantwortliche bzw. durch den Modulverantwortlichen zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.

Verwendbarkeit
Das Modul Projekt ist erforderlich für den Abschluss des Master-Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik.

Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt im Frühjahrstrimester.

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Weltraumnutzung	2504

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

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
25041	P	Apparatives Praktikum Weltraumnutzung	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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

Qualifikationsziele
Nach dem Bestehen des Moduls sind die Studierenden in der Lage, • selbstständig Fragestellungen aus dem Bereich der Erdbeobachtung oder der Satellitennavigation zu lösen. • vertiefende Detailkenntnisse aus der Erdbeobachtung oder der Satellitennavigation darzustellen. • geeignete Navigationsdaten oder Satellitenbilder auszuwählen und selbstständig auszuwerten • Projektergebnisse zu präsentieren

Inhalt
Die Studierenden entscheiden sich selbstständig und unter Berücksichtigung verfügbarer Plätze für einen der beiden Teilbereiche der Weltraumnutzung: Satellitennavigation oder Erdbeobachtung. Sie führen im Anschluss ihr apparatives Praktikum mit einem Thema aus diesem Bereich durch. **SATELLITENNAVIGATION (hochpräzise Positionierung mit GNSS und INS eines autonomen Systems):** Autonome Systeme (z.B. Landfahrzeuge, 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. Das Praktikum stellt es sich zur Aufgabe, eine Positionierungseinheit auszuwählen und mit einem autonomen Kleinfahrzeug (Clearpath/

Jakal) in Betrieb zu nehmen. Es soll bei guten (freie Sicht zum Himmel) und schlechten (zwischen Gebäuden) GNSS-Bedingungen gefahren werden. Die Performance ist über optische Vergleichsmessungen (Lasertracker/Multistation) zu verifizieren. Es sind folgende Schritte mit Unterstützung der wissenschaftlichen Mitarbeiter vorgesehen:

- Verständnis der Aufgabenstellung, Auswahl der Systemkomponenten
- Theoretische Einarbeitung in das GNSS/INS-System und des Korrekturdatendienstes (RTK oder PPP)
- Montierung des GNSS/INS-Systems und des Reflektors
- Fahrt unter guten und schlechten GNSS-Bedingungen
- Auswertung der Daten und Vergleich mit optischer Referenzmessung

ERDBEOBACHTUNG (Auswertung von Satellitendaten):

Das Praktikum umfasst folgende Arbeitspunkte basierend auf realen Satellitendaten:

- Einführung in geeignete Auswertesoftware (z.B. SNAP, QGIS, Python oder Google Earth Engine)
- je nach Teilprojekt Beschaffung von frei verfügbaren Satellitendaten aus geeigneten Quellen
- Erarbeitung der Fragestellung für ein geeignetes Szenario (z.B. Krisen oder Naturkatastrophen)
- Auswertung von Satellitendaten zur analytischen Beschreibung des ausgewählten Szenarios
- Dokumentation und Vorstellung der Ergebnisse

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Bearbeitung von Aufgaben eines umfangreichen Praktikumsversuchs - 33%
- Präsentation und Diskussion der Ergebnisse im Rahmen eines Kolloquiums (Dauer 15-20 Minuten) - 33 %
- Wissenschaftliche Dokumentation der Praktikumsergebnisse in Form eines Versuchsberichtes (Nettobearbeitungsaufwand: 30h, Umfang ca. 10-20 Seiten) - 34%

Verwendbarkeit

Wesentliche Ergänzung zu den gehörten Vorlesungen in Satellitennavigation, Erdbeobachtung und Telekommunikation, die zu vertieften Kenntnissen in den Fachgebieten führt. Das Praktikum ist auf die Vorlesungsinhalte abgestimmt und behandelt insbesondere Verfahren der Satellitennavigation, der allgemeinen Navigation (Inertialnavigation u.a.) und der Erdbeobachtung/Fernerkundung. Die erarbeiteten Kenntnisse sind gleichermaßen für zivile und militärische Anwendungen verwendbar.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Apparatives Praktikum Bauweisen & Werkstoffe	3832

Konto	Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026

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	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Grundlegene Kenntnisse über:

- Spannungen & Dehnungen, Material- bzw. Werkstoffgesetze, Werkstoffcharakterisierung
- Physikalische und mechanische Werkstoffeigenschaften, Einteilung d. Werkstoffklassen (v.a. Metalle, Kunststoffe und Faserverbundwerkstoffe)
- Leichtbauprofile, Stabilität von Leichtbaustrukturen
- Eigenschaften von Schwingungen, Schwingungsverhalten von Strukturen
- Ermüdung von Werkstoffen, Rissentstehung und -wachstum

Qualifikationsziele

- Die Studierenden kennen die wesentlichen mechanischen Prüfverfahren und können deren Anwendungsbereiche sinnvoll einordnen.
- Die Studierenden können Werkstoff- und Strukturversuche selbstständig definieren, aufbauen und durchführen.
- Die Studierenden verstehen die Anwendung und Bedienung der wesentlichen, bei der mechanischen Prüfung zur Anwendung kommenden, Messverfahren und Messgeräte.
- Die Studierenden lernen mögliche Fehlerquellen bei der Versuchsdurchführung und Auswertung kennen und können den Einfluss der Fehler abschätzen.
- Die Studierenden sind sensibilisiert gegenüber Ergebnissen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen und wissen, mit eventuellen Diskrepanzen zwischen Theorie und Experiment umzugehen bzw. sie zu interpretieren.

Inhalt
Die Studierenden erwerben im apparativen Praktikum „Bauweisen & Werkstoffe “ praktische Kenntnisse und Fertigkeiten im Hinblick auf den Aufbau und die Durchführung mechanischer WErkstoff- und Strukturversuche. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte: • 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 Schdigung bzw. Rissausbreitung sowie das statische und dynamische Verhalten von Leichtbaustrukturen. • 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. Dehnungsferldern sowie Verfahren zur Risslängenmessung. • Innerhalb der verschiedenen Versuche werden ausgewählte Inhalte aus den Modulen des Schwerpunktes "Bauweisen & Werkstoffe" ewxperimentell vertieft. • 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.
Leistungsnachweis
Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen: • Aktive Teilnahme an den Laborversuchen mit entsprechender Vorbereitung der Versuche - 50% • Erstellung eines Berichts je durchgeführtem Versuch (je Bericht: Dauer: 2-3 Wochen, Nettobearbeitungszeit: 10h, Umfang: ca. 5-10 Seiten) - 50%
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugführungssysteme	1058

Konto	PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10581	VL	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10582	VL	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
10583	UE	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10584	UE	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				8

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Lehrveranstaltung „Flugdynamik & Flugregelung (FDFR)“:

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

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Ziele und Aufgaben der Flugdynamik und Flugregelung, die Einordnung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik und die Bedeutung in den Wirkungsschleifen der Flugführung.
- Die Studierenden werden mit den in der Flugzeuglängsbewegung wirkenden Kräften und Momenten vertraut gemacht. Dabei werden aus den verschiedenen Flugzuständen resultierenden Einflüsse untersucht und in der Schreibweise der aerodynamischen Derivative dargestellt. Dabei werden im Einzelnen die folgenden Aspekte behandelt:
  - Anstellwinkel- und Höhenrudereinfluss auf das Nickmoment
  - Nickdämpfung und Manöverpunkt
  - 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:
  - Windfahnenstabilität und weitere Derivative der Gierbewegung (z.B. Gierdämpfung, Giersteuerung, Seitenkraft)
  - Derivative der Rollbewegung (z.B. Rolldämpfung, Rollsteuerung)
  - Kopplungsmomente (z.B. Schiebe-Rollmoment, Roll-Giermoment)

- Die Studierenden erhalten einen detaillierten Einblick in die Herleitung der nichtlinearen Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Vorgaberegelung („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.
- 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.
- 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.
- Die Studenten werden mit den ersten Grundbegriffen des Luftverkehrsmanagements und der Luftraumstruktur vertraut gemacht.
- 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.
- Die Studierenden werden in die Grundlagen der wichtigsten Navigationssensoren bzw. -systeme eingeführt. In diesem Zusammenhang werden die Prinzipien der Funknavigation, Trägheitsnavigation und Satellitennavigation erläutert.
- 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.
- 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 & Warning System“) diskutiert.
- Die Studierenden lernen die wesentlichen Funktionen eines FMS („Flight Management System“) kennen.
- Die Studierenden erhalten einen ersten Einblick in Fragestellungen des Zusammenwirkens zwischen dem Menschen (Piloten), dem Flugzeug und den automatisierten Flugführungssystemen.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 120 Minuten

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:
- Voraussetzung für das Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“
- Voraussetzung für das Modul „Flugführung & Automation“
- Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt mit Flugdynamik & Flugregelung im Wintertrimester und Flugführung & Navigation im Frühjahrstrimester.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik I	1061

Konto	PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10611	VL	Flugsystemtechnik I	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele

1. Der/die Studierende hat vertiefte Kenntnisse der einzelnen Baugruppen und Subsysteme eines Luftfahrzeuges.
2. Der/die Studierende kennt Aufgaben und Leistungsgrenzen der grundlegenden Luftfahrzeugsubsysteme und kann unterschiedliche technische Varianten vergleichen.
3. Der/die Studierende erkennt systemische Abhängigkeiten und Verbindungen unter den Systemen
4. Der/die Studierende kann die Auswirkungen von Fehlfunktionen bewerten.

Inhalt

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.

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

- Kraftstoff und Antriebssystem

und darauf auch die sogenannten Grundsysteme

- Hydraulik,
- Elektrik,
- Pneumatik

eingegangen. Anschließend werden die, darauf aufbauende
- Klimasystem
- Flugsteuerungssystem

behandelt.
Im Weiteren vertiefen die Studierenden das Wissen zu den grundlegenden Systemen des Flugzeuges in einer A320 Simulationsumgebung. Dort können die Systeme von den Studierenden bedient und deren Funktion und Leistung an animierten Systemschaubildern nachvollzogen werden.

Literatur

- Moir I.; Seabridge A.: Aircraft Systems; Wiley, 2008.
- Langton R. (Ed.); Aircraft Fuel Systems; Wiley, 2009.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik II	1062

Konto	PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10621	VÜ	Flugsystemtechnik II	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
Luftfahrttechnik, Flugsystemtechnik I

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

Inhalt
Nachdem im Master-Modul "Flugsystemtechnik I" auf die Grundsysteme eines Luftfahrzeuges eingegangen wurde, vertieft das Modul "Flugsystemtechnik II" die Kenntnisse in weiteren, zum Großteil elektronisch dominierten Teilsystemen und Komponenten. Da in heutigen Luftfahrzeugen die Vernetzung der einzelnen Subsysteme sowie der jeweiligen funktionalen Domänen in hohem Grade zunimmt, wird im ersten Teil der Lehrveranstaltung "Avionik" auf die IT-technische Infrastruktur eingegangen und dabei die • Grundlagen eingebetteter Rechnersysteme und -strukturen, • digitale Bussysteme sowie die sog. • "Integrierte Modulare Avionik" angesprochen. Anschließend werden weitere, darauf aufbauende Subsysteme wie

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

behandelt.

Parallel werden als seminaristischer Anteil durch die Studierenden ausgewählte Einzelthemen, die an den behandelnden Inhalt angelagert sind, aufbereitet und in Form von Kurzpräsentationen vorgetragen.

Literatur

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer: 60 Minuten) - 80%
- Seminarvortrag (Bearbeitungszeit für die Vorbereitung: ca. 10h, Dauer: ca. 30 Minuten) - 20%

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugzeugaerodynamik	1063

Konto	PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden sind in der Lage, dem Einfluss der Kompressibilität auf die Profilaerodynamik Rechnung zu tragen.

Die Studierenden beherrschen die Anwendung der Potentialgleichung bei kompressibler Strömung.

Die Schwierigkeiten des Flügels in der Transonik sind den Studierenden bekannt.

Die Studierenden wissen um die Auswirkung der Flügelpfeilung.

Die Studierenden kennen die Varianten mechanischer Hochauftriebshilfen und deren potentialtheoretische Berechnungsmethodik.

Den Studierenden ist die Berechnung von Strömungen an Verdichtungsstößen bzw. Expansionsfächern geläufig. Die Berechnung aerodynamischer Beiwerte an Profilen sowie die Grundzüge der Flächenregeln sind verstanden.

Die Studierenden verstehen die Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs.

Die Studierenden können die Umströmung einfacher Rumpfgeometrien mit Hilfe der Potentialtheorie nachvollziehen und kennen die mit reibungsbehafteter Strömung verbundenen Probleme und Gegenmaßnahmen.

Inhalt
• Kompressible Strömung/Aerodynamik • Pfeilflügel • Hochauftriebshilfen • Reine Überschallaerodynamik • Theorie schlanker Körper • Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs • Rumpfaerodynamik • Flügel-Rumpf-Kombination
Literatur
• Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 1. Springer Verlag, 2000. • Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 2. Springer Verlag, 2000. • Bertin J.J., Smith M.L.: Aerodynamics for Engineers. Prentice-Hall, 1989. • Anderson J.D.: Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill Book Company, 1984.
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung mit 75 Minuten Gesamtdauer bestehend aus 15 Minuten Kurzfragenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) und 60 Minuten Rechenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner und doppelseitig – auch maschinell – beschriebenes DIN A4 Blatt).
Verwendbarkeit
Die Flugzeugaerodynamik stellt die Voraussetzung für die aerodynamische Auslegung von Fluggeräten in allen Machzahlbereichen zur Verfügung.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester. Es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugzeugentwurf	1064

Konto	PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Grundlagen der Flugmechanik und Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele

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

13 Der/die Studierende kennt die Aufteilung der bei einem Flugzeugprojekt entstehenden Kosten.

Inhalt

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

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

Zunächst wird das Auslegungsdiagramm, in welchem die grundsätzlichen Entwurfsparameter "Schub/Gewichtsverhältnis" F/G über "Flächenbelastung" G/S aufgetragen sind, allgemein vorgestellt. Im weiteren Verlauf werden aus gestellten Leistungsforderungen Grenzen des Auslegungsdiagramms entwickelt.

Im ersten Schritt werden die Punktleistungen (Steigfähigkeit, Beschleunigungsfähigkeit, max. Fluggeschwindigkeit, Dienstgipfelhöhe, durchgehaltene und maximale Wenderaten) hergeleitet, sowie die daraus entstehenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Die Betrachtung der Missionsleistungen erfordert zunächst eine Darstellung möglicher Missionsarten, sowie die Gliederung einer Mission in Missionssegmente.

Im weiteren Verlauf werden Start- und Landestrecke betrachtet. Eine Aufteilung in Teilsegmente erlaubt die Abschätzung der benötigten Roll- und Gesamtstrecken. Anschließend werden die sich aus dieser Betrachtung ergebenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Weitere Grenzen wie z.B. Böenlastvielfache, Mindeststeigwinkel bei Triebwerksausfall etc. werden behandelt und dem Auslegungsdiagramm hinzugefügt. Abschließend ergibt sich ein Auslegungsbereich möglicher Kombinationen der Parameter G/S und F/G in dem der Auslegungspunkt gewählt werden muss.

Anschließend an die Behandlung des Auslegungsdiagramms werden Reichweiten- und Warteflug, sowie die Reichweitenoptimierung behandelt.

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

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

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

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

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

Literatur

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer 60 Minuten) - 50%
- Bearbeitung eines Entwurfsprojektes (Bearbeitungszeitraum: 10 Wochen, Nettobearbeitungszeit: 50h) - 50%

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Finite Elemente	1057

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10571	VÜ	Finite Elemente	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
"Mechanik“ oder "Technische Mechanik I und II“. Sinnvoll sind auch die Module "Technische Mechanik III" und "Höhere Technische Mechanik".

Qualifikationsziele
Die Studierenden können nach erfolgreichem Bestehen des Moduls Finite Elemente die Grundbegriffe und den theoretischen Hintergrund der linearen FEM wiedergeben. Sie sind in der Lage die Methode der Finiten Elemente zu anderen numerischen Verfahren abzugrenzen, verstehen die Vorgehensweise bei der FEM und können diese zur Berechnung von linear elastischen Randwertproblemen der Strukturmechanik anwenden. Die Studierenden erwerben die Kompetenz, eigenverantwortlich eine lineare FE-Berechnung durchzuführen (ein lineares numerisches Modell im Rahmen einer FE-Software aufzubauen und zu lösen) sowie die Berechnungsergebnisse selbständig zu interpretieren und zu bewerten. Nach Abschluss des Moduls befinden sich die Studierenden zudem in der Lage, ein kommerzielles FE-Programm in Grundzügen zu benutzen.

Inhalt

In diesem Modul erwerben die Studierenden umfassende Kenntnisse zur Lösung von Problemstellungen in der linearen Strukturmechanik.
• Die Studierenden erhalten eine grundlegende Einführung in die FEM. Dazu zählen:
  • Mathematische Grundlagen
  • Einführung in die Variationsrechnung
  • Prinzip der virtuellen Arbeit.
  • Elementtypen (Art, Freiheitsgrade, Besonderheiten, Auswahl) und Anwendungsbereiche für die Elemente
  • Modellverifikation (Fehlerquellen, Standard-Tests, Konvergenz)

- Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zur Anwendung der FEM auf diskrete Problemstellungen der linearen Strukturmechanik:
  - Herleitung einfacher Elementformulierungen für Fachwerke / Stäbe sowie für Tragwerke / Balken.

- Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zur Anwendung der FEM in der linearen Kontinuumsmechanik (1D, 2D sowie 3D):
  - Schwache Form der Impulsbilanz
  - FE-Diskretisierung (Wahl der Ansatzfunktion, isoparametrische finite Elemente)
  - Materialmodell
  - Aspekte der numerischen Integration
  - Implementierung und Programmierung

- Die Studierenden erhalten Erkenntnisse über die Anwendung der FEM in der Strukturdynamik, insbesondere bei der Berechnung von Eigenfrequenzen und Eigenformen.
- Zur Anwendung der FEM in der Thermomechanik (Wärmeleitungsprobleme) erhalten die Studierenden einen grundlegenden Überblick.

Literatur

- Betten: Finite Elemente für Ingenieure 1 und 2, Springer Verlag
- Knothe, Wessels: Finite Elemente, Springer Verlag
- Link: Finite Elemente in der Statik und Dynamik, Teubner Verlag
- Müller, Groth: FEM für Praktiker Band 1, Expert Verlag
- Bathe: Finite Elemente Methoden, Springer Verlag

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Leichtbaustrukturen	1068

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10681	VÜ	Leichtbaustrukturen	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in „Festigkeitslehre“ und „Leichtbau“

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

1. mehrfach statisch unbestimmte Strukturen zu analysieren sowie Schnittlastverläufe und Verformungen zu ermitteln.
2. die wesentlichen Mechanismen, die bei der Einleitung konzentrierter Kräfte in dünnwandige Strukturen wirken, darzustellen. Sie können die dabei auftretenden Spannungen ermitteln und ihre Auswirkungen auf praktische Problemstellungen übertragen und beurteilen.
3. die verschiedenen Versagensarten von Leichtbaustrukturen aufzuzählen und hinsichtlich ihrer Ursachen und Wirkung zu erklären und zu differenzieren.
4. die Berechnungsmethoden für diskrete und kontinuierliche Tragwerke zu erklären und anzuwenden.
5. stabilitätskritische Lasten für stabartige Tragwerke und einfache dünnwandige Strukturen zu bestimmen und die Ergebnisse kritisch zu beurteilen.
6. die Wirkungsweise von Membrankreiszylinderschalen mit und ohne Umfangsversteifungen zu erklären.

Inhalt

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 Membrankreiszylinderschalen wird gegeben.

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Arbeits- und Energiemethoden
  - Äußere Arbeit und Formänderungsenergie
  - Satz von Betti und Maxwell
  - Kraftgrößenverfahren, Verschiebungsbeiwerte
  - Berechnung statisch unbestimmter Strukturen

- Lasteinleitung & Lastumleitung in Leichtbaustrukturen
  - Krafteinleitungen
  - Dreigurtscheibe

- Stabilität von Leichtbaustrukturen
  - Stab-Feder-Systeme
    - Verzweigungs- und Duchschlagsprobleme
    - Stab-Feder-Systeme
    - Systeme mit mehreren Freiheitsgraden
    - Kombinierte Beanspruchungen (Interaktionsformeln)

  - Elastische Tragwerke: Balken
    - Balken mit Vorverformung
    - Näherungsverfahren für Balken
    - Elastisch gebetteter Balken, Sandwichknittern
    - Biegedrillknicken, Kippen

  - Elastische Tragwerke: Platten/Schalen
    - Plattenbeulen
    - Teilschaleninstabilitäten
    - Beulen von Kreiszylinderschalen
    - Konzept der mittragenden Breite und des Zugfeldes

- Statik der Kreiszylinderschalen
  - Übertragungsmatrix der Membranschale
  - umfangsbiegesteife Kreiszylinderschale, Spantmatrix

Literatur

- Kossira H.: Grundlagen des Leichtbaus. Einführung in die Theorie dünnwandiger stabförmiger Tragwerke. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1996.
- Wiedemann J.: Leichtbau. Elemente und Konstruktion. Berlin: Springer Verlag, 2007.
- Pflüger A.: Stabilitätsprobleme der Elastostatik. Berlin: Springer-Verlag, 1975.
- Niu M.C.Y.: Airframe Stress Analysis and Sizing. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd., 1999.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Moderne Strukturwerkstoffe	1076

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10761	VL	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	4
10762	UE	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Nach Bestehen dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- für gegebene Anforderungsfälle geeignete Werkstoffe systematisch auszuwählen und die ganzheitlichen Eigenschaftsprofile der verschiedenen Werkstoffe zu beurteilen.
- wichtige Werkstoffklassen der Luft- und Raumfahrt zu benennen, ihre Struktureigenschaften einzuschätzen, sowie den werkstoffkundlichen Hintergrund des Materialdesigns zu beschreiben.
- Grundzüge der Auslegung und Berechnung zusammenzufassen und wesentliche Einflussfaktoren für das Strukturverhalten einzuschätzen.

Inhalt

1. Werkstoffauswahl
   1. Auswahldiagramme und Werkstoffindices, softwarebasierte Werkstoffauswahl
   2. Gleichzeitige Optimierung mehrerer Größen
   3. Ökologische Werkstoffauswahl
   4. Prozesstechnische Aspekte der Werkstoffauswahl

2. Metalle für den Leichtbau
   1. Leichtmetalle (Al-, Ti-, Mg-Legierungen)
   2. Hochfeste Stähle
   3. Zelluläre Werkstoffe (Schäume, Gitterstrukturen, „architectured materials“)

3. 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

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
Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	1088

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Eric Jägle	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10881	VL	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	4
10882	UE	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Bachelor-Studium LRT (insb. Vorlesung Werkstoffkunde)

Qualifikationsziele

- 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.
- Sie lernen, mittels bruchmechanischer Hilfsmittel die Grenzen der Einsetzbarkeit von Werkstoffen zu bewerten und die Lebensdauer von rissbehafteten Bauteilen abzuschätzen.
- Sie lernen die verschiedenen Arten des Werkstoffversagens unter zyklischer Belastung (Ermüdung) sowie deren theoretische Beschreibung kennen.
- Sie lernen die Mechanismen der zeitabhängigen plastischen Verformung bei erhöhten Temperaturen kennen und werden befähigt, die Zeitstandsfähigkeit zu berechnen.
- Sie kennen die Methoden des Werkstoffdesigns zur Verbesserung der Bruchzähigkeit, des Ermüdungsverhaltens und der Zeitstandsfähigkeit bei hohen Temperaturen.

Inhalt

1. Statische Beanspruchung: Bruchmechanik
   - Linearelastische Bruchmechanik (LEBM), Sprödbruch (Grundlagen, Grenzen der LEBM, R-Kurven-Konzept, Risszähigkeit)
   - Fließbruchmechanik (Kleinbereichsfließen, COD-Konzept, J-Integral)
   - Experimentelle Untersuchung des Bruchverhaltens
   - 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

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
Strukturdynamik	1089

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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
10891	VÜ	Strukturdynamik	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Festigkeitslehre" und "Schwingungslehre"

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

- die wesentlichen Verfahren zur Lösung der klassischen Schwingungsgleichungen für Strukturen mit kleiner Dämpfung und einer beliebigen Zahl von Freiheitsgraden benennen und zu erklären.
- Zwischen den Begriffen „Eigenfrequenz“, „Eigenform“, „Modale Masse“, „Modale Steifigkeit“ und „Modale Dämpfung“ zu differenzieren. Sie können Aufgabenstellungen korrekt in „Frequenzbereich“ bzw. „Zeitbereich“ einordnen.
- Den Unterschied zwischen analytischen und numerischen Lösungsverfahren für Schwingungsgleichungen erklären. Sie können die entsprechenden Verfahren auswählen und für einfache Aufgabenstellungen anwenden.
- Für ein gegebenes physikalisches Ersatzmodell ein geeignetes mathematisches Ersatzmodell zu erstellen und dieses mit geeigneten Methoden zu lösen.
- Für einfache Aufgabenstellungen geeignete Näherungsverfahren einzusetzen, um schnell erste Aussagen bzgl. des dynamischen Verhaltens von Strukturen machen zu können.

Inhalt

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

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Schwingungen von Feder-Masse-Systemen mit einem Freiheitsgrad
  - Freie, ungedämpfte Schwingungen
  - Erzwungene Schwingungen
    - Analytische Lösung einfacher Anregungen
    - Numerische Lösungsverfahren
  - Schwach gedämpfte Schwingungen

- Schwingungen von Systemen mit vielen Freiheitsgraden
  - Eigenfrequenzen und Eigenformen
  - Systematisches Aufstellen der Bewegungsgleichung
  - Erstellung der Steifigkeitsmatrix und Massenmatrix
  - Reduktion von Freiheitsgraden
  - Orthogonalität von Eigenvektoren, Entkopplung der Bewegungsgleichungen
  - Gedämpfte Schwingungen, Dämpfungsmodelle
  - Numerische Integration der Bewegungsgleichung, Newmark-ß-Verfahren
  - Darstellung von Schwingungen im Zustandsraum
  - Allgemeines zur dynamischen Analyse von Strukturen

- Näherungsverfahren
  - Biegeschwingungen, Torsionsschwingungen, gekoppelte Biege-Torsionsschwingungen
  - Ritz’sches Verfahren, Galerkin’sches Verfahren

Experimentelle Modalanalyse

Literatur

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

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Methoden in der Produktentwicklung	1423

Konto	PFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Koch	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14231	VL	Methoden in der Produktentwicklung	Pflicht	4
14232	UE	Methoden in der Produktentwicklung	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Qualifikationsziele

- Vermittlung von Kenntnissen zum Gesamtkontext des Produktlebenszyklus einschließlich seiner Phasen und relevanten Stakeholder
- Erlernen von Fähigkeiten zur Lösung entwicklungstypischer Probleme durch fundierte Auswahl, Anwendung und Bewertung geeigneter Methoden und Techniken
- Befähigung zur Analyse typischer methodischer Fehler in der Produktentwicklung sowie zur Ableitung wirksamer Gegenmaßnahmen
- Kennen der zukünfiguen Trends der Produktentwicklung und deren Einordnung hinsichtlich Nutzen, Reifegrad und Auswirkungen auf Prozesse, Rollen und Datenflüsse

Inhalt

Allgemeine Betrachtung

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

Prozessgestaltung

- Strukturierung von Entwicklungsprozessen: operative und strategische Vorgehensmodelle
- Prozessgestaltung für interdisziplinäre Entwicklungsaufgaben
- Phasen des Produktentwicklungsprozesses und typische Handlungen am Beispiel

Methodenunterstützung in der Produktentwicklung

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

Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung

- Produktdatenmanagement: Aufbereitung sowie 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. 9. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2019.
- Ehrenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 6. Auflage. Hanser Fachbuchverlag, 2017.
- Lindemann, U. (2007). *Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden* (2., illustrierte Aufl.). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-37451-0 (eBook), ISBN 978-3-540-37450-3 (Print). DOI: 10.1007/978-3-540-37451-0.
- Haberfellner, R.; de Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S. (2015). *Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung* (13., aktualisierte Aufl.). Orell Füssli Verlag, Zürich. ISBN 978-3-280-04068-3.
- Rupp, C.: die SOPHISTen. (2014). *Requirements-Engineering und -Management: Aus der Praxis von klassisch bis agil* (6., aktualisierte und erweiterte Aufl.). Carl Hanser Verlag, München. ISBN 978-3-446-43893-4.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten.

Verwendbarkeit

Das Modul Methoden in der Produktentwicklung stellt die Grundlagen für ein strukturiertes Herangehen zur Lösung von komplexen Entwicklungsaufgaben sowohl für Entwicklungstätigkeiten während des Studiums als auch in einer nachgelagerten Verwendung in den verschiedenen Bereichen der Produktentwicklung. Eine Erweiterung der in diesem Modul erlangten Kenntnisse erfolgt im Modul Entwicklungsmanagement.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Aerothermodynamik	1048

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung der Aerothermodynamik bei technischen Problemstellungen hinsichtlich Machbarkeit, Technologie und zukünftigen Trends einordnen.
2. Die Studierenden können für einfache Fälle mechanische und thermische Lasten abschätzen.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, für die jeweiligen Anwendungen sinnvolle Konfigurationen vorschlagen zu können.
4. Die Studenten bekommen Einblick in einige Phänomene, die nicht direkt LRT zuzuordnen sind.

Inhalt

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.

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.
2. Ausgehend von einer Betrachtung von reibungsfreien Über-/Hyperschallströmungen unter Idealgasannahme werden schrittweise zusätzliche Kopplungen wie z.B.Reibungseffekte, Effekte von einfachen chemischen Reaktionen im Gleichgewicht und Nichtgleichgewicht eingeführt und um Ansätze zur Beschreibung von Hochtemperaturgaseingeschaften erweitert.
3. Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf insbesondere Erdweidereintritt sowie Reichweitenflug von Flugkörpern erweitert.

Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 75 Minuten.
Verwendbarkeit
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet insbesondere von Wiedereintrittsfluggeräten.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Chemische Thermodynamik	1052

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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.
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
Gasdynamik	1066

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
PD Dr. rer. nat. habil. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können Form und Lage auftretender Verdichtungsstöße und Expansionswellen bei der Umströmung von zweidimensionalen Körpern sowie der Durchströmung von Düsen vorhersagen
- Die Studierenden können Änderungen der Strömungsgrößen in zweidimensionalen kompressiblen Strömungen berechnen
- Die Studierenden können das Charakteristikenverfahren zur Berechnung von Überschallströmungen für einfache Fälle anwenden
- Die Studierenden kennen die wesentlichen Realgaseffekte und wissen, wann sie auftreten und berücksichtigt werden müssen
- Die Studierenden haben Grundkenntnisse über die Temperatureffekte bei kompressiblen Grenzschichtströmungen
- Die Studierenden sind mit der Erzeugung von Überschallströmung vertraut und kennen Beispiele für die wesentliche Messtechnik zur Analyse kompressibler Strömung

Inhalt

- Thermodynamische Grundlagen
- Die Gasdynamische Grundgleichung
- Die linearisierte Potentialgleichung
- Senkrechter Verdichtungsstoß
- Schiefer Verdichtungsstoß
- Prandtl-Meyer Strömung
- Wechselwirkung von Stößen und Expansionen
- Charakteristikenverfahren

- Düsenströmung
- Realgaseffekte
- Grenzschichten in kompressiblen Strömungen
- Versuchsanlagen
- Messmethoden der Gasdynamik

Literatur

- Anderson, J.D. (2004). Modern Compressible Flow with Historical Perspective, Mc Graw-Hill
- Anderson, J.D. (2006). Hypersonic and hightemperature gas dynamics. American Institute of Aeronautics and Astronautics
- Hirschel, E.H. (2015). Basics of Aerothermodynamics, Springer-Verlag
- Jischa, M. (1982). Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch, Vieweg
- Krause, E. (2003). Strömungslehre, Gasdynamik und Aerodynamisches Laboratorium. Springer-Verlag
- Liepmann, H.W., & Roshko, A. (2001). Elements of gasdynamics. Courier Corporation
- Sauer, R. (2013). Theoretische Einführung in die Gasdynamik, Springer-Verlag
- White, F.M. (2016). Fluid Mechanics, in SI Units, Mc Graw-Hill

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner).

Verwendbarkeit

Die Inhalte der Vorlesung liefern die theoretischen Grundlagen und das notwendige Verständnis zur Analyse und Vorhersage von kompressiblen Strömungen. Die erworbenen Kenntnisse über transsonische, supersonische und hypersonische Strömung bilden die Grundlage für ein tieferes Verständnis der Strömungsphänomene in der Luft – und Raumfahrttechnik.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Messmethoden in der Strömungsmechanik	1072

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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	3
10722	UE	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

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

- Versuchsanlagen für Modelluntersuchungen
- Verfahren zur Visualisierung von Strömungen
- 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

Mündliche Einzelprüfung mit 30 Minuten Dauer 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 Fluiddynamik", 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
Wärme- und Stofftransport	1090

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10901	VL	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	4
10902	UE	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

- Die Studierenden erhalten zunächst eine kurze Wiederholung der Eigenschaften der drei Arten von Wärmeübertragung: Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang, Strahlung. Es wird eine Übersicht über Anwendungen in der Antriebs- und

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten.

Verwendbarkeit

Das Modul vertieft Inhalte des „Grundlagen der Wärmeübertragung“. Es bietet Methoden zur Analyse und Berechung 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
Computational Fluid Dynamics I	3827

Konto	PFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38271	VL	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	2
38272	UE	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	3
38273	UE	Computational Fluid Dynamics I - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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 Fluiddynamik, 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

Literatur

- Blazek J.: Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. Elsevier, Amsterdam, 2001.
- Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- Hirsch Charles: Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. I&II. Butterworth Heinemann, 2007.
- LeVeque Randall J.: Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics. Cambridge University Press, 2002.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugführungssysteme	1058

Konto	PFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10581	VL	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10582	VL	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
10583	UE	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10584	UE	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				8

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Lehrveranstaltung „Flugdynamik & Flugregelung (FDFR)“:

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

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Ziele und Aufgaben der Flugdynamik und Flugregelung, die Einordnung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik und die Bedeutung in den Wirkungsschleifen der Flugführung.
- Die Studierenden werden mit den in der Flugzeuglängsbewegung wirkenden Kräften und Momenten vertraut gemacht. Dabei werden aus den verschiedenen Flugzuständen resultierenden Einflüsse untersucht und in der Schreibweise der aerodynamischen Derivative dargestellt. Dabei werden im Einzelnen die folgenden Aspekte behandelt:
  - Anstellwinkel- und Höhenrudereinfluss auf das Nickmoment
  - Nickdämpfung und Manöverpunkt
  - 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:
  - Windfahnenstabilität und weitere Derivative der Gierbewegung (z.B. Gierdämpfung, Giersteuerung, Seitenkraft)
  - Derivative der Rollbewegung (z.B. Rolldämpfung, Rollsteuerung)
  - Kopplungsmomente (z.B. Schiebe-Rollmoment, Roll-Giermoment)

- Die Studierenden erhalten einen detaillierten Einblick in die Herleitung der nichtlinearen Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Vorgaberegelung („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.
- 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.
- 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.
- Die Studenten werden mit den ersten Grundbegriffen des Luftverkehrsmanagements und der Luftraumstruktur vertraut gemacht.
- 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.
- Die Studierenden werden in die Grundlagen der wichtigsten Navigationssensoren bzw. -systeme eingeführt. In diesem Zusammenhang werden die Prinzipien der Funknavigation, Trägheitsnavigation und Satellitennavigation erläutert.
- 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.
- 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 & Warning System“) diskutiert.
- Die Studierenden lernen die wesentlichen Funktionen eines FMS („Flight Management System“) kennen.
- Die Studierenden erhalten einen ersten Einblick in Fragestellungen des Zusammenwirkens zwischen dem Menschen (Piloten), dem Flugzeug und den automatisierten Flugführungssystemen.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 120 Minuten

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:
- Voraussetzung für das Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“
- Voraussetzung für das Modul „Flugführung & Automation“
- Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt mit Flugdynamik & Flugregelung im Wintertrimester und Flugführung & Navigation im Frühjahrstrimester.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum	1059

Konto	PFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 rechnertechnische Realisierung sowie die dazu notwendigen Methoden und deren Anwendung kennen.
- Die Studierenden erfahren in der Praxis die Auswirkungen der Modifikation von Flugeigenschaften, sowohl durch Veränderungen der Aerodynamik als auch durch Maßnahmen der Flugregelung.
- Die Studierenden verstehen in der Praxis die Grenzen einer Reglerauslegung am linearen Modell und erkennen die Notwendigkeit von Maßnahmen wie „Gain-Scheduling“.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“ Fertigkeiten zur Simulation des dynamischen Verhaltens aerodynamisch getragener,

konventioneller Flächenflugzeuge einschließlich der Modifikation durch Flugregelsysteme auf dem Digitalrechner. Hierzu zählen im Einzelnen die folgenden Inhalte:

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- jeweils mündliche Hausaufgabenüberprüfung (Dauer ca. 30 Minuten) - 50%
- Abschlusspräsentation (Dauer: ca. 30 Minuten, Bearbeitungszeit für Vorbereitung: ca. 10h, Abgabe Vorträge und SW-Code) - 50%

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:

- Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugführung und Automation	1060

Konto	PFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 Leistungsengpässe. 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 menschgerechte 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Die Studierenden werden mit dem Ansatz der kognitiven und kooperativen Automation und dem Begriff der wissensbasierten Assistenzsysteme vertraut gemacht.
- 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).
- Die Studierenden erhalten einen Einblick in aktuelle Forschungsarbeiten auf dem Feld der kognitiven Systeme und Pilotenassistenzsysteme.
- 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.

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Vorbereitung (Nettobearbeitungszeit: ca. 10h) und Präsentation eines Seminarvortrages (Dauer ca. 20 Minuten) - 40%
- Mündliche Kenntnisstandfeststellung (Dauer ca. 30 Minuten) - 60%

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:
Ideale Voraussetzung für bestimmte Masterarbeiten im Studienschwerpunkt „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik I	1061

Konto	PFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10611	VL	Flugsystemtechnik I	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele

1. Der/die Studierende hat vertiefte Kenntnisse der einzelnen Baugruppen und Subsysteme eines Luftfahrzeuges.
2. Der/die Studierende kennt Aufgaben und Leistungsgrenzen der grundlegenden Luftfahrzeugsubsysteme und kann unterschiedliche technische Varianten vergleichen.
3. Der/die Studierende erkennt systemische Abhängigkeiten und Verbindungen unter den Systemen
4. Der/die Studierende kann die Auswirkungen von Fehlfunktionen bewerten.

Inhalt

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.

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

- Kraftstoff und Antriebssystem

und darauf auch die sogenannten Grundsysteme

- Hydraulik,
- Elektrik,
- Pneumatik

eingegangen. Anschließend werden die, darauf aufbauende
- Klimasystem
- Flugsteuerungssystem

behandelt.
Im Weiteren vertiefen die Studierenden das Wissen zu den grundlegenden Systemen des Flugzeuges in einer A320 Simulationsumgebung. Dort können die Systeme von den Studierenden bedient und deren Funktion und Leistung an animierten Systemschaubildern nachvollzogen werden.

Literatur

- Moir I.; Seabridge A.: Aircraft Systems; Wiley, 2008.
- Langton R. (Ed.); Aircraft Fuel Systems; Wiley, 2009.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnik 2	2326

Konto	PFL Flugführungssysteme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23261	VL	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
23262	UE	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Höhere Mathematik", "Technische Mechanik", "Messtechnik", "Experimentalphysik", "Allgemeine Elektrotechnik" und "Regelungstechnik 1" des LRT-Bachelorstudiums.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Mehrgrößensystemen beschreiben und dessen Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit analysieren.
2. Die Studierenden sind in der Lage, das Verhalten von Mehrgrößensystemen mithilfe geeigneter Mehrgrößenregler gezielt zu beeinflussen.
3. Die Studierenden verfügen über grundlegende Kenntnisse in der digitalen Signalverarbeitung sowie in der Modellierung, Analyse und Synthese digitaler Regelkreise.

Inhalt

Im Modul Regelungstechnik 2 wird das in der Grundlagenvorlesung "Regelungstechnik 1" erworbene Wissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft:

1. Ausgehend von Eingrößensystemen werden Methoden zur Beschreibung und Analyse dynamischer Mehrgrößensysteme behandelt. Neben der Einführung grundlegender Begriffe (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden elementare Methoden zur Analyse des Systemverhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und zur Untersuchung der Steuer- und Beobachtbarkeit vermittelt.
2. Grundlagen zur Synthese linearer Mehrgrößenregler:
   - Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
   - Zustandsbeobachter,
   - erweiterte Regelungsstrukturen

3. Beschreibung und Analyse digitaler Mehrgrößensysteme:
   - Definition und Abtastsystem, Halteglied und zeitdiskreter Standardregelkreis
   - Beschreibung durch zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Umwandlung von kontinuierlichen Zustandsmodellen in zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Steuer- und Beobachtbarkeit
   - Stabilität

4. Grundlagen zur Synthese digitaler Regelungen:
   - Entwurf digitaler Regelungen
   - Digitaler PID-Regler
   - Optimale Regelung

Literatur

- J. Lunze: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 10. Auflage. Berlin: Springer–Verlag, 2020.
- F. Borrelli, A. Bemporad, and M. Morari: Predictive Control for Linear and Hybrid Systems, Cambridge University Press, 2017.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

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

- Voraussetzung für das Modul „Moderne Methoden der Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Multiagentenregelung**“**
- Voraussetzung für das Modul „Ausgewählte Kapitel 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
Antriebskomponenten	1049

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dragan Kožulovi#	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- können die verschiedenen Bauweisen von Turbomaschinen klassifizieren und die passenden Bauweisen für Flugantriebe auswählen,
- können die reibungsfreie und reibungsbehaftete Strömung in Turbomaschinen analysieren,
- sind in der Lage, Überschallphänomene und dreidimensionale Strömungsphänomene zu erkennen und deren Auswirkungen zu bewerten,
- können die Leistungsparameter von Verdichtern und Turbinen hinsichtlich des Einsatzes in Flugantrieben bewerten,
- sind in der Lage, einen einfachen aerodynamischen Entwurf von Verdichter- und Turbinenschaufeln vorzunehmen und geeignete Verbesserungsmaßnahmen zu identifizieren und anzuwenden,
- kennen das charakteristische Betriebsverhalten von Verdichtern und Turbinen in Flugantrieben.

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 ab, 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

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 ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugsystemtechnik I	1061

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10611	VL	Flugsystemtechnik I	Pflicht	5
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele

1. Der/die Studierende hat vertiefte Kenntnisse der einzelnen Baugruppen und Subsysteme eines Luftfahrzeuges.
2. Der/die Studierende kennt Aufgaben und Leistungsgrenzen der grundlegenden Luftfahrzeugsubsysteme und kann unterschiedliche technische Varianten vergleichen.
3. Der/die Studierende erkennt systemische Abhängigkeiten und Verbindungen unter den Systemen
4. Der/die Studierende kann die Auswirkungen von Fehlfunktionen bewerten.

Inhalt

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.

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

- Kraftstoff und Antriebssystem

und darauf auch die sogenannten Grundsysteme

- Hydraulik,
- Elektrik,
- Pneumatik

eingegangen. Anschließend werden die, darauf aufbauende
- Klimasystem
- Flugsteuerungssystem

behandelt.
Im Weiteren vertiefen die Studierenden das Wissen zu den grundlegenden Systemen des Flugzeuges in einer A320 Simulationsumgebung. Dort können die Systeme von den Studierenden bedient und deren Funktion und Leistung an animierten Systemschaubildern nachvollzogen werden.

Literatur

- Moir I.; Seabridge A.: Aircraft Systems; Wiley, 2008.
- Langton R. (Ed.); Aircraft Fuel Systems; Wiley, 2009.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Gasdynamik	1066

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
PD Dr. rer. nat. habil. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können Form und Lage auftretender Verdichtungsstöße und Expansionswellen bei der Umströmung von zweidimensionalen Körpern sowie der Durchströmung von Düsen vorhersagen
- Die Studierenden können Änderungen der Strömungsgrößen in zweidimensionalen kompressiblen Strömungen berechnen
- Die Studierenden können das Charakteristikenverfahren zur Berechnung von Überschallströmungen für einfache Fälle anwenden
- Die Studierenden kennen die wesentlichen Realgaseffekte und wissen, wann sie auftreten und berücksichtigt werden müssen
- Die Studierenden haben Grundkenntnisse über die Temperatureffekte bei kompressiblen Grenzschichtströmungen
- Die Studierenden sind mit der Erzeugung von Überschallströmung vertraut und kennen Beispiele für die wesentliche Messtechnik zur Analyse kompressibler Strömung

Inhalt

- Thermodynamische Grundlagen
- Die Gasdynamische Grundgleichung
- Die linearisierte Potentialgleichung
- Senkrechter Verdichtungsstoß
- Schiefer Verdichtungsstoß
- Prandtl-Meyer Strömung
- Wechselwirkung von Stößen und Expansionen
- Charakteristikenverfahren

- Düsenströmung
- Realgaseffekte
- Grenzschichten in kompressiblen Strömungen
- Versuchsanlagen
- Messmethoden der Gasdynamik

Literatur

- Anderson, J.D. (2004). Modern Compressible Flow with Historical Perspective, Mc Graw-Hill
- Anderson, J.D. (2006). Hypersonic and hightemperature gas dynamics. American Institute of Aeronautics and Astronautics
- Hirschel, E.H. (2015). Basics of Aerothermodynamics, Springer-Verlag
- Jischa, M. (1982). Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch, Vieweg
- Krause, E. (2003). Strömungslehre, Gasdynamik und Aerodynamisches Laboratorium. Springer-Verlag
- Liepmann, H.W., & Roshko, A. (2001). Elements of gasdynamics. Courier Corporation
- Sauer, R. (2013). Theoretische Einführung in die Gasdynamik, Springer-Verlag
- White, F.M. (2016). Fluid Mechanics, in SI Units, Mc Graw-Hill

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner).

Verwendbarkeit

Die Inhalte der Vorlesung liefern die theoretischen Grundlagen und das notwendige Verständnis zur Analyse und Vorhersage von kompressiblen Strömungen. Die erworbenen Kenntnisse über transsonische, supersonische und hypersonische Strömung bilden die Grundlage für ein tieferes Verständnis der Strömungsphänomene in der Luft – und Raumfahrttechnik.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Luftfahrtantriebe	1069

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dragan Kožulovi#	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10691	VL	Luftfahrtantriebe	Pflicht	3
10692	UE	Luftfahrtantriebe	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- kennen die besonderen Merkmale von Turbofan- und Propeller-Triebwerken,
- können die Leistungsparameter von Turbofan- und Propeller-Triebwerken analysieren und die einzelnen Triebwerkskomponenten aufeinander abstimmen,
- kennen die Vor- und Nachteile verschiedener Triebwerkstypen und sind in der Lage, geeignete Triebwerkstypen für verschiedene Einsatzbereiche auszuwählen,
- verstehen die Besonderheiten des Überschallflugs und können den aerodynamischen Entwurf des Triebwerks darauf anpassen,
- verstehen das charakteristische Betriebsverhalten von Flugantrieben und können geeignete Regelungsstrategien anwenden.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Luftfahrtantriebe vertieftes Wissen über Turbofan- und Propeller-Triebwerke:

- Für beide Triebwerkstypen werden die jeweiligen Merkmale, Einsatzbereiche, Kennzahlen und aerothermodynamische Zusammenhänge erläutert.
- Es werden Grundlagen zur Berechnung des Schubs, des Wirkungsgrads und des spezifischen Triebstoffverbrauchs vermittelt.
- Wesentliche Einflussparameter auf die Triebwerksperformance werden dargelegt und geeignete Auslegungstrends abgeleitet.

Darüber hinaus erwerben die Studierenden in diesem Modul Grundlagenwissen über Besonderheiten des Überschallflugs und entsprechende Auswirkungen auf

den Triebwerksentwurf. Hierbei wird insbesondere auf die Auslegung geeigneter Überschalleinläufe, der Schubdüsen und des Nachbrenners eingegangen.

Das Modul schließt mit einer Einführung in das Betriebsverhalten von Flugantrieben und zugehöriger Komponenten ab. Hierbei wird auf Kennfelder von Verdichtern und Turbinen eingegangen sowie auf geeignete Regelungskonzepte.

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 ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Raumfahrtantriebe	1081

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die physikalischen Grundlagen, Funktionsprinzipien und Systemarchitekturen verschiedener Raumfahrtantriebe erklären.
2. Die Studierenden sind in der Lage, Missionsanforderungen zu analysieren und grundlegende Entwurfsentscheidungen für chemische, elektrische und luftatmende Systeme zu treffen.
3. Die Studierenden können Antriebskonzepte hinsichtlich Leistung, Effizienz und technologischem Entwicklungsstand vergleichen und bewerten.

Inhalt

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen werden die physikalischen Prinzipien, Systemarchitekturen und praktischen Auslegungsmethoden verschiedener Raumfahrtantriebe behandelt. Neben der Analyse der Missionsanforderungen werden auch Entwurfs- und Betriebsaspekte diskutiert.

Vorlesung (Theorie und Systemkunde)

- Missionsanalyse und Trägerraketen
- Definition und fundamentale Leistungsparameter
- Flüssigkeitsraketenantriebe (Aufbau, Komponenten, Verbrennung und Instabilitäten)
- Feststoff- und Hybridraketen (interne Ballistik, Brennverhalten, Entwurfsprinzipien)
- Satelliten- und elektrische Antriebe (Funktionsweise, Anwendungen, Effizienz)
- Luftatmer (Ramjets, Scramjets, Detonationsmotoren)
- Zukunftskonzepte und Space Mobility

Übung / Seminar (Praktische Analyse und Entwurf)

- Anwendung theoretischer Modelle zur Dimensionierung von Raketenstufen und Satellitenantrieben
- Nutzung thermodynamischer Simulationstools (z. B. CEA) zur Bewertung der Leistungseigenschaften in Abhängigkeit von Treibstoff und Mischungsverhältnis.
- Entwurfsaufgaben zu Düsen, Injektoren und Feststoff-Booster-Konfigurationen
- Diskussion aktueller Forschungsthemen in Gastvorträgen

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 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
Wärme- und Stofftransport	1090

Konto	PFL Antriebe - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10901	VL	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	4
10902	UE	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

- Die Studierenden erhalten zunächst eine kurze Wiederholung der Eigenschaften der drei Arten von Wärmeübertragung: Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang, Strahlung. Es wird eine Übersicht über Anwendungen in der Antriebs- und

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten.

Verwendbarkeit

Das Modul vertieft Inhalte des „Grundlagen der Wärmeübertragung“. Es bietet Methoden zur Analyse und Berechung 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
Dynamik und Regelung von Satelliten	1054

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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
10541	VL	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	3
10542	UE	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Bachelor- und Master-Modulen der „Höheren Mathematik“, der „Technischen Mechanik“, "Regelungstechnik" sowie der „Physik“ 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:

- Einführung
- Lagekinematik
- Lagedynamik
- Kreiseldynamik
- Spin-Stabilisierung
- Gravitationsgradienten-Stabilisierung
- Dreiachsen-Stabilisierung
- Lagemanöver

Literatur

- Curtis H.D.: Orbital Mechanics for Engineering Students
- Sidi M.J.: Spacecraft Dynamics & Control
- Hughes P.C.: Spacecraft Attitude and Dynamcis
- Steiner, Schagerl: Raumflugmechanik

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

- 30 Minuten Fragenteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Formelsammlung, Taschenrechner

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Raumfahrtantriebe	1081

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die physikalischen Grundlagen, Funktionsprinzipien und Systemarchitekturen verschiedener Raumfahrtantriebe erklären.
2. Die Studierenden sind in der Lage, Missionsanforderungen zu analysieren und grundlegende Entwurfsentscheidungen für chemische, elektrische und luftatmende Systeme zu treffen.
3. Die Studierenden können Antriebskonzepte hinsichtlich Leistung, Effizienz und technologischem Entwicklungsstand vergleichen und bewerten.

Inhalt

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen werden die physikalischen Prinzipien, Systemarchitekturen und praktischen Auslegungsmethoden verschiedener Raumfahrtantriebe behandelt. Neben der Analyse der Missionsanforderungen werden auch Entwurfs- und Betriebsaspekte diskutiert.

Vorlesung (Theorie und Systemkunde)

- Missionsanalyse und Trägerraketen
- Definition und fundamentale Leistungsparameter
- Flüssigkeitsraketenantriebe (Aufbau, Komponenten, Verbrennung und Instabilitäten)
- Feststoff- und Hybridraketen (interne Ballistik, Brennverhalten, Entwurfsprinzipien)
- Satelliten- und elektrische Antriebe (Funktionsweise, Anwendungen, Effizienz)
- Luftatmer (Ramjets, Scramjets, Detonationsmotoren)
- Zukunftskonzepte und Space Mobility

Übung / Seminar (Praktische Analyse und Entwurf)

- Anwendung theoretischer Modelle zur Dimensionierung von Raketenstufen und Satellitenantrieben
- Nutzung thermodynamischer Simulationstools (z. B. CEA) zur Bewertung der Leistungseigenschaften in Abhängigkeit von Treibstoff und Mischungsverhältnis.
- Entwurfsaufgaben zu Düsen, Injektoren und Feststoff-Booster-Konfigurationen
- Diskussion aktueller Forschungsthemen in Gastvorträgen

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 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
Satellitensysteme	1086

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10861	VL	Satellitensysteme	Pflicht	3
10862	UE	Satellitensysteme	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

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

theoretischen Grundlagen erarbeitet, dann verschiedene technische Lösungen vorgestellt und abschließend gezeigt, wie eine erste qualitative und quantitative Auslegung des Subsystems vorgenommen werden kann.

Die Gliederung der Vorlesung sieht wie folgt aus:

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

Literatur

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

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

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Orbitmechanik und Missionsanalyse	1461

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14611	VL	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	3
14612	UE	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Bachelor-Modulen der "Höheren Mathematik", der "Physik" und der "Raumfahrtsysteme" vermittelt werden.

Qualifikationsziele

Die Studierenden sollen ein vertieftes Verständnis der Grundlagen der Orbitmechanik, Bahnbestimmung und Missionsanalyse erwerben. Sie sollen in der Lage sein, die Bewegung von Raumflugkörpern in verschiedenen Bezugssystemen zu beschreiben, Bahnelemente zu bestimmen und Bahnübergänge sowie Bahnmanöver zu analysieren und zu planen.

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sollen die Studierenden:

die relevanten Bezugssysteme und Zeitreferenzen im Raumflugkontext sicher anwenden können, Keplerbahnen mathematisch formulieren und interpretieren können, die Bestimmung von Satellitenbahnen aus Beobachtungsdaten durchführen und bewerten können, Störkräfte auf Satellitenbahnen identifizieren und deren Auswirkungen analysieren können, spezielle Bahntypen (z. B. geostationäre, sonnensynchrone, Molniya-Orbits) charakterisieren können, die kinematischen und dynamischen Grundlagen von Rendezvous- und Docking-Manövern verstehen und anwenden können, sowie die Prinzipien interplanetarer Transfers und Swing-by-Manöver nachvollziehen und berechnen können.

Die Studierenden sollen dadurch befähigt werden, eigenständig orbitmechanische Problemstellungen im Rahmen der Missionsanalyse, Satellitenoperation und Raumfahrttechnik zu bearbeiten.

Inhalt

Das Modul vermittelt die physikalischen und mathematischen Grundlagen der Orbitmechanik und Missionsanalyse. Es behandelt die Beschreibung und Analyse von Raumflugbahnen unter idealisierten und gestörten Bedingungen
sowie Methoden zur Bestimmung und Planung von Satelliten- und Transferbahnen.

Neben den theoretischen Grundlagen werden auch praxisrelevante Aspekte der Missionsanalyse, der Bahnverfolgung und der Manöverplanung behandelt. Die Studierenden erwerben damit ein umfassendes Verständnis der Bahndynamik von Raumflugkörpern und deren Anwendung in der Raumfahrttechnik.
Die Vorlesung gliedert sich in folgende Themenbereiche:

- Bezugssysteme und Zeitreferenzen in der Orbitmechanik
- Bahnelemente und Bahnparameter
- Bahnübergänge und Orbitmanöver
- Bestimmung von Satellitenbahnen aus Beobachtungsdaten
- Bahnstörungen und deren analytische bzw. numerische Behandlung
- Spezielle Satellitenbahnen (geostationär, sonnensynchron, Molniya, etc.)
- Relative Bewegungen im Orbit, Rendezvous und Docking
- Grundlagen interplanetarer Transfers und Swing-by-Manöver

Literatur

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten
- 30 Minuten Fragenteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Formelsammlung, Taschenrechner

Verwendbarkeit

Voraussetzung sowohl für wissenschaftliche Grundlagenforschung als auch angewandter Entwicklung im Bereich der Missionsanalyse und Bahnoptimierung für Raumfahrtmissionen.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Satellitennavigation	2308

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23081	VÜ	Globale Satellitennavigationssysteme	Pflicht	4
23082	VÜ	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der höheren Mathematik (lineare Algebra) und von Raumfahrtsystemen, Grundkenntnisse der Signalverarbeitung und der elektrischen Messtechnik.

Qualifikationsziele

Die Veranstaltung hat folgende Qualifikationsziele:

- Die Absolventen können die Elemente der globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) definieren (Systemarchitektur/Segmente), wie auch die zivilen und militärischen Einsatzgebiete.
- Sie können die Funktionsweise der Signalverarbeitung und der Positionierung konzeptionell und mathematisch darstellen und daher die Verwundbarkeit von GNSS bewerten.
- Sie können die Performanzmerkmale darlegen und bei Navigationsanwendungen anwenden.
- Sie verstehen die Datenverarbeitung, Algorithmik sowie das Fehlerbudget der differentiellen GNSS-Technik inkl. RTK und PPP und erinnern die dazugehörigen Anwendungen im zivilen und militärischen Bereich.
- Sie sind in Lage Softwaretools im Bereich der GNSS-Signalverarbeitung und Positionierung selbständig einzusetzen

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, Einzel- und Doppeldifferenzen
- DGNSS, RTK und PPP
- Anwendungsspektrum

Im Rahmen der Übungen werden mit MATLAB anwendungsnahe Programme unter Anleitung entwickelt oder modifiziert, welche mit realen Daten ausgeführt werden. Ein GNSS-Softwareempfänger wird genutzt, um alle Aspekte der Signalverarbeitung anhand realer Daten zu verstehen. Weiter werden Messungen und Versuchsaufbauten mit der Ausrüstung des Navigationslabors durchgeführt (z.B.: Jamming und Spoofing von GNSS).

Literatur

Den Studierenden stehen die Powerpoint-Folien, 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.
- K. Borre et al., „A software-defined GPS and Galileo receiver; a single frequency approach“, Birkhäuser.
- H. Dodel, D. Häupler, „Die Satellitennavigation“, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- E. Kaplan, C. Hegarty, “Understanding GPS: principles and applications”, Artech house.
- P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), „Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems”, Springer 2017

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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. Die Veranstaltung vermittelt das Basiswissen im Bereich Satellitennavigation und deckt den Systemaufbau, die Signalverarbeitung, die Positionierung sowie zahlreichen GNSS-Anwendungen ab.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnik 2	2326

Konto	PFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23261	VL	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
23262	UE	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Höhere Mathematik", "Technische Mechanik", "Messtechnik", "Experimentalphysik", "Allgemeine Elektrotechnik" und "Regelungstechnik 1" des LRT-Bachelorstudiums.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Mehrgrößensystemen beschreiben und dessen Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit analysieren.
2. Die Studierenden sind in der Lage, das Verhalten von Mehrgrößensystemen mithilfe geeigneter Mehrgrößenregler gezielt zu beeinflussen.
3. Die Studierenden verfügen über grundlegende Kenntnisse in der digitalen Signalverarbeitung sowie in der Modellierung, Analyse und Synthese digitaler Regelkreise.

Inhalt

Im Modul Regelungstechnik 2 wird das in der Grundlagenvorlesung "Regelungstechnik 1" erworbene Wissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft:

1. Ausgehend von Eingrößensystemen werden Methoden zur Beschreibung und Analyse dynamischer Mehrgrößensysteme behandelt. Neben der Einführung grundlegender Begriffe (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden elementare Methoden zur Analyse des Systemverhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und zur Untersuchung der Steuer- und Beobachtbarkeit vermittelt.
2. Grundlagen zur Synthese linearer Mehrgrößenregler:
   - Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
   - Zustandsbeobachter,
   - erweiterte Regelungsstrukturen

3. Beschreibung und Analyse digitaler Mehrgrößensysteme:
   - Definition und Abtastsystem, Halteglied und zeitdiskreter Standardregelkreis
   - Beschreibung durch zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Umwandlung von kontinuierlichen Zustandsmodellen in zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Steuer- und Beobachtbarkeit
   - Stabilität

4. Grundlagen zur Synthese digitaler Regelungen:
   - Entwurf digitaler Regelungen
   - Digitaler PID-Regler
   - Optimale Regelung

Literatur

- J. Lunze: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 10. Auflage. Berlin: Springer–Verlag, 2020.
- F. Borrelli, A. Bemporad, and M. Morari: Predictive Control for Linear and Hybrid Systems, Cambridge University Press, 2017.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

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

- Voraussetzung für das Modul „Moderne Methoden der Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Multiagentenregelung**“**
- Voraussetzung für das Modul „Ausgewählte Kapitel 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
Erdbeobachtung	1055

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10553	VÜ	Optische Fernerkundung	Pflicht	3
10554	VÜ	Radarfernerkundung	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik, Experimentalphysik, Messtechnik, Programmierkenntnisse.

Qualifikationsziele

Nach dem Bestehen des Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- moderne Fernerkundungsverfahren und -sensoren insbesondere aus dem Bereich der Radar- und optischen Fernerkundung darzulegen und zu vergleichen
- die Systemtechniken und die wesentlichen Auswerteverfahren unter Anwendung der digitalen Datenverarbeitung zu unterscheiden
- im Bereich der Radarfernerkundung die komplette Prozessierungskette zu beschreiben und die notwendigen Schritte vom rohen Radarsignal zum fokussierten SAR-Bild, sowie von fokussierten SAR-Bildern zu abgeleiteten Produkten wie Höhen- oder Veränderungskarten zu strukturieren.
- im Bereich der optischen Fernerkundung die geometrischen und spektralen Eigenschaften von Bilddaten zu identifizieren und verstehen, wie diese durch geeignete mathematische Modellierung zur Ableitung von Informationen genutzt werden können.
- die vielfältigen zivilen und militärischen Anwendungsbereiche der Erdbeobachtung zu benennen.

Inhalt

Optische Fernerkundung

- Optische Bilderzeugung und -aufnahme
- Grundlagen der Photogrammetrie
- Auswertung spektraler Informationen
- Landbedeckungsklassifikationen

Radarfernerkundung

- Grundlagen der Radartechnik
- Synthetik-Apertur-Prinzip
- Eigenschaften von SAR-Bildern
- SAR-Interferometrie (InSAR)
- Fortgeschrittene SAR-Methoden

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

Verwendbarkeit

Erweiterung des Grundwissens auf den Gebieten optische sowie Radarfernerkundung und anderer Erbdeobachtungsverfahren. Verständnis der Auswerteprozesse und Anwendungen bei der zivilen und militärischen Nutzung der Fernerkundung. Erarbeiten von Spezialwissen auf dem Gebiet der interferometrischen SAR-Verfahren beispielsweise zur Ableitung von digitalen Höhenmodellen als wesentliche zivile und militärische Planungsgrundlage.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitensysteme	1086

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10861	VL	Satellitensysteme	Pflicht	3
10862	UE	Satellitensysteme	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

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

theoretischen Grundlagen erarbeitet, dann verschiedene technische Lösungen vorgestellt und abschließend gezeigt, wie eine erste qualitative und quantitative Auslegung des Subsystems vorgenommen werden kann.

Die Gliederung der Vorlesung sieht wie folgt aus:

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

Literatur

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

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

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Orbitmechanik und Missionsanalyse	1461

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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	60	90	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
14611	VL	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	3
14612	UE	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Bachelor-Modulen der "Höheren Mathematik", der "Physik" und der "Raumfahrtsysteme" vermittelt werden.

Qualifikationsziele

Die Studierenden sollen ein vertieftes Verständnis der Grundlagen der Orbitmechanik, Bahnbestimmung und Missionsanalyse erwerben. Sie sollen in der Lage sein, die Bewegung von Raumflugkörpern in verschiedenen Bezugssystemen zu beschreiben, Bahnelemente zu bestimmen und Bahnübergänge sowie Bahnmanöver zu analysieren und zu planen.

Nach erfolgreichem Abschluss des Moduls sollen die Studierenden:

die relevanten Bezugssysteme und Zeitreferenzen im Raumflugkontext sicher anwenden können, Keplerbahnen mathematisch formulieren und interpretieren können, die Bestimmung von Satellitenbahnen aus Beobachtungsdaten durchführen und bewerten können, Störkräfte auf Satellitenbahnen identifizieren und deren Auswirkungen analysieren können, spezielle Bahntypen (z. B. geostationäre, sonnensynchrone, Molniya-Orbits) charakterisieren können, die kinematischen und dynamischen Grundlagen von Rendezvous- und Docking-Manövern verstehen und anwenden können, sowie die Prinzipien interplanetarer Transfers und Swing-by-Manöver nachvollziehen und berechnen können.

Die Studierenden sollen dadurch befähigt werden, eigenständig orbitmechanische Problemstellungen im Rahmen der Missionsanalyse, Satellitenoperation und Raumfahrttechnik zu bearbeiten.

Inhalt

Das Modul vermittelt die physikalischen und mathematischen Grundlagen der Orbitmechanik und Missionsanalyse. Es behandelt die Beschreibung und Analyse von Raumflugbahnen unter idealisierten und gestörten Bedingungen
sowie Methoden zur Bestimmung und Planung von Satelliten- und Transferbahnen.

Neben den theoretischen Grundlagen werden auch praxisrelevante Aspekte der Missionsanalyse, der Bahnverfolgung und der Manöverplanung behandelt. Die Studierenden erwerben damit ein umfassendes Verständnis der Bahndynamik von Raumflugkörpern und deren Anwendung in der Raumfahrttechnik.
Die Vorlesung gliedert sich in folgende Themenbereiche:

- Bezugssysteme und Zeitreferenzen in der Orbitmechanik
- Bahnelemente und Bahnparameter
- Bahnübergänge und Orbitmanöver
- Bestimmung von Satellitenbahnen aus Beobachtungsdaten
- Bahnstörungen und deren analytische bzw. numerische Behandlung
- Spezielle Satellitenbahnen (geostationär, sonnensynchron, Molniya, etc.)
- Relative Bewegungen im Orbit, Rendezvous und Docking
- Grundlagen interplanetarer Transfers und Swing-by-Manöver

Literatur

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten
- 30 Minuten Fragenteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Formelsammlung, Taschenrechner

Verwendbarkeit

Voraussetzung sowohl für wissenschaftliche Grundlagenforschung als auch angewandter Entwicklung im Bereich der Missionsanalyse und Bahnoptimierung für Raumfahrtmissionen.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung	2307

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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
180	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10923	VL	Weltraumwetter und Schwerefeld	Pflicht	1
10924	UE	Weltraumwetter und Schwerefeld	Pflicht	2
23071	VÜ	Verschlüsselungsverfahren bei GNSS	Pflicht	1
34172	VÜ	Einführung in Space Communications	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Raumfahrttechnik, Satellitennavigation, Grundlagen der Elektrotechnik, Messtechnik

Qualifikationsziele

Die Veranstaltung hat drei Kapitel der Weltraumnutzung zum Inhalt. Die erste Teilveranstaltung versetzt die Studierenden in die Lage, kryptographische Verfahren und Funktionsweisen der Zugriffskontrolle und der Fälschungssicherheit in der Satellitennavigation zu analysieren. 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 zur 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

Verschlüsselungsverfahren bei GNSS

- Symmetrische und asymmetrische Verschlüsselung
- GPS P/Y-Kode, M-Kode, Galileo PRS
- Schlüsselverteilung
- Galileo Open Service Message Authentication
- Wasserzeichen zur Authentifizierung von Spreizkodes

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 Raumfahrtsysteme, Grundlagen digitaler Satellitennutzlasten und digitaler Signalverarbeitung im Orbit.

Weltraumwetter und Schwerefeld
- 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 Schwerefeldbestimmung 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.

Leistungsnachweis

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

Verwendbarkeit

Vervollständigung des Wissens der Weltraumnutzung im Bereich Satellitenkommunikation, Weltraumwetter und Schwerefeldbestimmung, um zusammen mit den hier vermittelten Spezialkenntnissen der Navigation und den weiteren Vorlesungen zur Erdbeobachtung/Navigation die erdbezogenen Weltraumtechniken in ihrere Gesamtheit anzuwenden und weiterentwicklen zu können.

Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im 4. Trimester des Masterstudienganges statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitennavigation	2308

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23081	VÜ	Globale Satellitennavigationssysteme	Pflicht	4
23082	VÜ	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der höheren Mathematik (lineare Algebra) und von Raumfahrtsystemen, Grundkenntnisse der Signalverarbeitung und der elektrischen Messtechnik.

Qualifikationsziele

Die Veranstaltung hat folgende Qualifikationsziele:

- Die Absolventen können die Elemente der globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) definieren (Systemarchitektur/Segmente), wie auch die zivilen und militärischen Einsatzgebiete.
- Sie können die Funktionsweise der Signalverarbeitung und der Positionierung konzeptionell und mathematisch darstellen und daher die Verwundbarkeit von GNSS bewerten.
- Sie können die Performanzmerkmale darlegen und bei Navigationsanwendungen anwenden.
- Sie verstehen die Datenverarbeitung, Algorithmik sowie das Fehlerbudget der differentiellen GNSS-Technik inkl. RTK und PPP und erinnern die dazugehörigen Anwendungen im zivilen und militärischen Bereich.
- Sie sind in Lage Softwaretools im Bereich der GNSS-Signalverarbeitung und Positionierung selbständig einzusetzen

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, Einzel- und Doppeldifferenzen
- DGNSS, RTK und PPP
- Anwendungsspektrum

Im Rahmen der Übungen werden mit MATLAB anwendungsnahe Programme unter Anleitung entwickelt oder modifiziert, welche mit realen Daten ausgeführt werden. Ein GNSS-Softwareempfänger wird genutzt, um alle Aspekte der Signalverarbeitung anhand realer Daten zu verstehen. Weiter werden Messungen und Versuchsaufbauten mit der Ausrüstung des Navigationslabors durchgeführt (z.B.: Jamming und Spoofing von GNSS).

Literatur

Den Studierenden stehen die Powerpoint-Folien, 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.
- K. Borre et al., „A software-defined GPS and Galileo receiver; a single frequency approach“, Birkhäuser.
- H. Dodel, D. Häupler, „Die Satellitennavigation“, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- E. Kaplan, C. Hegarty, “Understanding GPS: principles and applications”, Artech house.
- P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), „Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems”, Springer 2017

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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. Die Veranstaltung vermittelt das Basiswissen im Bereich Satellitennavigation und deckt den Systemaufbau, die Signalverarbeitung, die Positionierung sowie zahlreichen GNSS-Anwendungen ab.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Robuste Navigation	2309

Konto	PFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23091	VÜ	GNSS in Luft- und Raumfahrt	Pflicht	2
23092	VÜ	Integrierte Navigation	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse aus der Vorlesung "Satellitennavigation"

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können nach dem erfolgreichen Besuch der Veranstaltung Navigationsanforderungen der Luftfahrt sowie die Zuverlässigkeit von GNSS darlegen.
- Sie sind in der Lage Verfahren zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von GNSS handzuhaben (RAIM, ARAIM) resp. darzustellen (SBAS, GBAS) und sie können analysieren, inwiefern die Navigationsanforderungen der Luftfahrt damit erfüllt werden können.
- Weiterhin können Sie Anwendungsfälle von GNSS in der Raumfahrt definieren und verschiedene der dafür notwendigen Verfahren der Signalverarbeitung
- Sie können Navigationssensorik und integrierte Navigationssysteme beschreiben, und sie für eine bestimme Anwendung entwerfen. Sie erinnern 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 können einen Kalman-Filter für Navigationsverfahren entwickeln.
- Sie erinnern die Strapdown-Rechnung der Inertialnavigation (INS) und können ein einfaches gekoppeltes GNSS/INS-System selbständig anwenden.

Inhalt

1) GNSS in Luft- und Raumfahrt
- Einsatz von GNSS innerhalb verschiedener Flugphasen
- Kenntnis über die Fehlersicherheit von GNSS und deren mathematischer Beschreibung. Erhöhung der Fehlersicherheit durch empfangerinterne Verfahren (RAIM, ARAIM) oder lokale Ergänzungssysteme (SBAS, GBAS).

- GNSS-Empfänger für die Raumfahrt und Stützung bei hochdynamischen Anwendungen

2) 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 §D
- GNSS)INS-Fehlerrrechnung und Systemauslegung

Literatur

Als optionale Literatur wird empfohlen:

- K. Wendel, „Integrierte Navigationssysteme: Sensordatenfusion, GPS und Inertiale Navigation“, Walter de Gruyter, 2011.
- P. Groves, “Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems”, Artech-House, 2013.
- P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), „Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems”, Springer 2017.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

Im Gegensatz zur täglichen Nutzung von GNSS von Milliarden von Anwendern im Massenmarkt (Smartphones, KFZ, IoT, …) verlangen Anwendungen in der Luftfahrt, im militärischen Bereich, sowie im professionellen Bereich (autonome Systeme, Umgebungserfassung, Erdbeobachtung, …) eine stark erhöhte Zuverlässigkeit. Das Modul vermittelt die notwendigen Kenntnisse, um als Navigationsingenieur in diesen Bereichen später tätig zu sein.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Autonome Systeme	1050

Konto	PFL Autonome Systeme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mählisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 „Prozessrechentechnik“ 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 Syteme" 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. Metho-den 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

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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Filter- und Schätzverfahren	1056

Konto	PFL Autonome Systeme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mählisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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 Syteme“ 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.

Im Einzelnen werden folgende Themen behandelt:

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 Minuten

Verwendbarkeit

Sehr viele ingenieurtechnische Aufgaben erfordern die Rekonstruktion oder Filterung von Daten aus verrauschten Sensordaten oder Messwerten. Anwendungen reichen von der Schätzung der Trajektorie von Flugkörpern oder der Bahn von Satelliten oder anderer Fahrzeuge bis zur Bestimmung der eigenen Lage z.B. über GPS Laufzeitmessungen.

Darüberhinaus sind viele regelungstechnische Aufgaben erst nach Beobachtung oder Schätzung nicht direkt messbarer Zustandsgrößen lösbar, z.B. nach Schätzung der Position des eigenen Fahrzeugs oder Flugzeugs im 3D-Raum aus den 2D-Bildern einer on-board Kamera oder eines Laserscanners.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL Autonome Systeme - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL Autonome Systeme - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Sensortechnik	1087

Konto	PFL Autonome Systeme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mirko Mählisch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden

- wissen aus welchen wesentlichen Elementen die Sensoren und Sensor-Plattformen eines autonomen Systemn bestehen,
- verstehen die Funktionsweise der verwendeten Sensorsysteme,
- können die erlernten Kenntnisse im parallel stattfindenden Praktikum „Autonome Systeme“ beim Aufbau eines autonomen Modell-Fahrzeugs anwenden.

Inhalt

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.

Ausgehend von einem Überblick über die Entwicklung und den derzeitigen Stand der Meßtechnik, der Sensortechnik und von Meßplattformen werden die folgenden Themenkreise behandelt:

- Einleitung und kurze Wiederholung von: Wozu benötigen wir Sensoren, Beispiele für Sensoren in Robotern und (autonomen) Fahrzeugen, Einteilung von Sensoren.

Statistische Kenngrößen und typische Messfehler einschl. deren mathematischer Beschreibung. Sensormodelle und Sensoreigenschaften.
- Messkette – von der Messgröße zum Messwert im Rechner Signalaufbereitung, Abtastung, Abtasttheorem, Aliasing, Analog-Digital-Wandler, Digitale Signalübertragung, Serielle Bussysteme, Digital-Analog-Wandler
- 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.
- 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.
- Inertiale Messsysteme und inertiale 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.
- 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
- Abstandsgebende Sensoren auf Basis Laufzeitmessung: Prinzip der Laufzeitmessung: Ultraschallsensoren, Radar und Lidar
- Bildgebende Sensoren: Video- und Infrarotkameras, HD (hochauflösende) 3D Lidarsysteme, optische time-of-flight Kameras. Grundlagen der Modellierung, Abbildungsgleichungen, homogene Koordinaten.
- Weiterführende Themen: Sensor-Timing, -Synchronisation und -Fusion. Out-of-sequence Messung.

Literatur

- Everett H.R.: Sensors for Mobile Robots. Wellesley: Peters, 1995.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 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 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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnik 2	2326

Konto	PFL Autonome Systeme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23261	VL	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
23262	UE	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Höhere Mathematik", "Technische Mechanik", "Messtechnik", "Experimentalphysik", "Allgemeine Elektrotechnik" und "Regelungstechnik 1" des LRT-Bachelorstudiums.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Mehrgrößensystemen beschreiben und dessen Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit analysieren.
2. Die Studierenden sind in der Lage, das Verhalten von Mehrgrößensystemen mithilfe geeigneter Mehrgrößenregler gezielt zu beeinflussen.
3. Die Studierenden verfügen über grundlegende Kenntnisse in der digitalen Signalverarbeitung sowie in der Modellierung, Analyse und Synthese digitaler Regelkreise.

Inhalt

Im Modul Regelungstechnik 2 wird das in der Grundlagenvorlesung "Regelungstechnik 1" erworbene Wissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft:

1. Ausgehend von Eingrößensystemen werden Methoden zur Beschreibung und Analyse dynamischer Mehrgrößensysteme behandelt. Neben der Einführung grundlegender Begriffe (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden elementare Methoden zur Analyse des Systemverhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und zur Untersuchung der Steuer- und Beobachtbarkeit vermittelt.
2. Grundlagen zur Synthese linearer Mehrgrößenregler:
   - Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
   - Zustandsbeobachter,
   - erweiterte Regelungsstrukturen

3. Beschreibung und Analyse digitaler Mehrgrößensysteme:
   - Definition und Abtastsystem, Halteglied und zeitdiskreter Standardregelkreis
   - Beschreibung durch zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Umwandlung von kontinuierlichen Zustandsmodellen in zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Steuer- und Beobachtbarkeit
   - Stabilität

4. Grundlagen zur Synthese digitaler Regelungen:
   - Entwurf digitaler Regelungen
   - Digitaler PID-Regler
   - Optimale Regelung

Literatur

- J. Lunze: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 10. Auflage. Berlin: Springer–Verlag, 2020.
- F. Borrelli, A. Bemporad, and M. Morari: Predictive Control for Linear and Hybrid Systems, Cambridge University Press, 2017.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

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

- Voraussetzung für das Modul „Moderne Methoden der Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Multiagentenregelung**“**
- Voraussetzung für das Modul „Ausgewählte Kapitel 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
Multiagentenregelung	2327

Konto	PFL Autonome Systeme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23271	VL	Multiagentenregelung	Pflicht	3
23272	UE	Multiagentenregelung	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnis der Inhalte aus folgenden Lehrveranstaltungen: „Höhere Mathematik“ und „Regelungstechnik 1“ des LRT Bachelorstudiums, sowie „Regelungstechnik 2“. Es wird auch empfohlen, parallel das Modul „Praktikum Optimale Steuerung“ zu belegen.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden sind in der Lage, die erforderlichen Schritte zur Entwicklung von Regelungsalgorithmen für vernetzte und automatisierte Fahrzeuge selbstständig umzusetzen.
2. Dabei berücksichtigen sie eigenverantwortlich technische, sicherheitsrelevante und organisatorische Aspekte der Entwicklung.
3. Sie können beurteilen, welche der verfügbaren Ansätze, Methoden und Algorithmen sich für eine gegebene Aufgabenstellung eignen

Inhalt

Im Modul „Multiagentenregelung“ werden die Grundlagen zur Entwicklung von Regelungsalgorithmen in vernetzten Fahrzeugen vermittelt:

1. Dynamische Fahrzeugmodelle
   - Kinematische und kinetische Massenpunktmodelle
   - Einspurmodelle

2. Regelungstechnik und Optimierung
   - Regelkreisglieder
   - Stabilität von Regelkreisen
   - Digitale Regelung
   - Zustandsraumdarstellung
   - Modellprädiktive Regelung
   - Konvexe Optimierung
   - Nicht-konvexe Optimierung

3. Netzwerk und Verteilung
   - Graphentheorie
   - Verteilte Algorithmen
   - Kooperative und nicht-kooperative Ansätze zur vernetzten Regelung

4. Softwarearchitekturen und Testkonzepte
   - Dienstorientierte Softwarearchitekturen
   - Vorgehensmodelle
   - In-the-Loop Tests von vernetzten Systemen

5. Fallstudie
   - Entwicklung eines Beispielsystems in Form einer Fahrzeugkolonne

Literatur

- R. Rajamani: Vehicle Dynamics and Control. 2. Auflage, Springer, 2005.
- S. Boyd and L. Vandenberghe. Convex Optimization. Cambridge University Press, 2004.
- J. Maciejowski. Predictive Control with Constraints. Prentice Hall, 2002.
- D. Simon. Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches. John Wiley & Sons, 2006.
- D. Abel, A. Bollig. Rapid Control Prototyping. Springer, 2006

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 60 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Finite Elemente	1057

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10571	VÜ	Finite Elemente	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
"Mechanik“ oder "Technische Mechanik I und II“. Sinnvoll sind auch die Module "Technische Mechanik III" und "Höhere Technische Mechanik".

Qualifikationsziele
Die Studierenden können nach erfolgreichem Bestehen des Moduls Finite Elemente die Grundbegriffe und den theoretischen Hintergrund der linearen FEM wiedergeben. Sie sind in der Lage die Methode der Finiten Elemente zu anderen numerischen Verfahren abzugrenzen, verstehen die Vorgehensweise bei der FEM und können diese zur Berechnung von linear elastischen Randwertproblemen der Strukturmechanik anwenden. Die Studierenden erwerben die Kompetenz, eigenverantwortlich eine lineare FE-Berechnung durchzuführen (ein lineares numerisches Modell im Rahmen einer FE-Software aufzubauen und zu lösen) sowie die Berechnungsergebnisse selbständig zu interpretieren und zu bewerten. Nach Abschluss des Moduls befinden sich die Studierenden zudem in der Lage, ein kommerzielles FE-Programm in Grundzügen zu benutzen.

Inhalt

In diesem Modul erwerben die Studierenden umfassende Kenntnisse zur Lösung von Problemstellungen in der linearen Strukturmechanik.
• Die Studierenden erhalten eine grundlegende Einführung in die FEM. Dazu zählen:
  • Mathematische Grundlagen
  • Einführung in die Variationsrechnung
  • Prinzip der virtuellen Arbeit.
  • Elementtypen (Art, Freiheitsgrade, Besonderheiten, Auswahl) und Anwendungsbereiche für die Elemente
  • Modellverifikation (Fehlerquellen, Standard-Tests, Konvergenz)

- Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zur Anwendung der FEM auf diskrete Problemstellungen der linearen Strukturmechanik:
  - Herleitung einfacher Elementformulierungen für Fachwerke / Stäbe sowie für Tragwerke / Balken.

- Die Studierenden erhalten vertieftes Wissen zur Anwendung der FEM in der linearen Kontinuumsmechanik (1D, 2D sowie 3D):
  - Schwache Form der Impulsbilanz
  - FE-Diskretisierung (Wahl der Ansatzfunktion, isoparametrische finite Elemente)
  - Materialmodell
  - Aspekte der numerischen Integration
  - Implementierung und Programmierung

- Die Studierenden erhalten Erkenntnisse über die Anwendung der FEM in der Strukturdynamik, insbesondere bei der Berechnung von Eigenfrequenzen und Eigenformen.
- Zur Anwendung der FEM in der Thermomechanik (Wärmeleitungsprobleme) erhalten die Studierenden einen grundlegenden Überblick.

Literatur

- Betten: Finite Elemente für Ingenieure 1 und 2, Springer Verlag
- Knothe, Wessels: Finite Elemente, Springer Verlag
- Link: Finite Elemente in der Statik und Dynamik, Teubner Verlag
- Müller, Groth: FEM für Praktiker Band 1, Expert Verlag
- Bathe: Finite Elemente Methoden, Springer Verlag

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

Verwendbarkeit

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.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Höhere Technische Mechanik	1067

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Technische Mechanik I und II

Qualifikationsziele

- Die Studierenden sind nach erfolgreichem Bestehen des Moduls in der Lage, komplexe Beanspruchungszustände von Bauteilen mit einfachen Methoden zu beurteilen.
- Die Studierenden kennen die der Höheren Technischen Mechanik zugrunde liegenden mathematischen und physikalischen Zusammenhänge und sind imstande, komplexere Systeme eigenständig zu modellieren und zu berechnen.
- Die Studierenden erlangen die Grundlagen für weiterführende Lehrveranstaltungen der Luft- und Raumfahrttechnik.

Inhalt

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

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

- 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: Kontinuumsmechink, Springer Verlag.
- Greve: Kontinuummechanik, 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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	1071

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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:

- Fourier-Transformation und Fourierreihen
- Laplace-Transformation
- Variationsprobleme: Euler-Lagrange'sche Differentialgleichung, Weierstrass-Erdmann'sche Eckenbedingungen, isoperimetrische Variationsprobleme, Anwendungen in der Mechanik
- Einführung in die optimale Steuerung: linear-quadratische Optimalsteuerungsprobleme und notwendige Bedingungen
- Partielle Differentialgleichungen: Klassifikation, Separation der Variablen, Fourier-Transformation, Laplace-Transformation, d'Alembert'sche Lösung, Charakteristiken

Literatur

- K. Meyberg, P. Vachenauer: Höhere Mathematik. Band 2. Springer, 2001.

- 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 90 Minuten.
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 ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Numerische Mathematik	1078

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10781	VL	Numerische Mathematik	Pflicht	3
10782	UE	Numerische Mathematik	Pflicht	2
10783	UE	Numerische Mathematik - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Grundlagen der numerischen Mathematik und der Softwareentwicklung aus dem Bachelorstudium

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Literatur
• W. Dahmen und A. Reusken: Numerik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer Verlag, 2008 • G. Evans, J. Blackledge, P. Yardley: Numerical Methods for Partial Differential Equations, Springer Verlag, 2000 • J.H. Ferziger, M. Peric: Numerische Strömungsmechanik, Springer Verlag, 2007 • C. Grossmann, H.G. Roos: Numerik partieller Differentialgleichungen, Teubner-Verlag, 2005 • P. Knabner, L. Angermann: Numerik partieller Differentialgleichungen, Springer Verlag, 2000 • 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 • A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri: Numerische Mathematik 1 & 2, Springer Verlag, 2000 • H. Schwarz: Methode der Finiten Elemente, Teubner-Verlag, 1991 • Josef Stoer, Roland Buliersch: Numerische Mathematik 1 und 2, Springer Verlag, Berlin 1994, 1990
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 120 Minuten (Hilfsmittel: selbst angefertigte Mitschrift aus der Vorlesung (1x DIN A4 beidseitig beschrieben), kein Taschenrechner).
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 Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Strukturdynamik	1089

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

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
10891	VÜ	Strukturdynamik	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Festigkeitslehre" und "Schwingungslehre"

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

- die wesentlichen Verfahren zur Lösung der klassischen Schwingungsgleichungen für Strukturen mit kleiner Dämpfung und einer beliebigen Zahl von Freiheitsgraden benennen und zu erklären.
- Zwischen den Begriffen „Eigenfrequenz“, „Eigenform“, „Modale Masse“, „Modale Steifigkeit“ und „Modale Dämpfung“ zu differenzieren. Sie können Aufgabenstellungen korrekt in „Frequenzbereich“ bzw. „Zeitbereich“ einordnen.
- Den Unterschied zwischen analytischen und numerischen Lösungsverfahren für Schwingungsgleichungen erklären. Sie können die entsprechenden Verfahren auswählen und für einfache Aufgabenstellungen anwenden.
- Für ein gegebenes physikalisches Ersatzmodell ein geeignetes mathematisches Ersatzmodell zu erstellen und dieses mit geeigneten Methoden zu lösen.
- Für einfache Aufgabenstellungen geeignete Näherungsverfahren einzusetzen, um schnell erste Aussagen bzgl. des dynamischen Verhaltens von Strukturen machen zu können.

Inhalt

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

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Schwingungen von Feder-Masse-Systemen mit einem Freiheitsgrad
  - Freie, ungedämpfte Schwingungen
  - Erzwungene Schwingungen
    - Analytische Lösung einfacher Anregungen
    - Numerische Lösungsverfahren
  - Schwach gedämpfte Schwingungen

- Schwingungen von Systemen mit vielen Freiheitsgraden
  - Eigenfrequenzen und Eigenformen
  - Systematisches Aufstellen der Bewegungsgleichung
  - Erstellung der Steifigkeitsmatrix und Massenmatrix
  - Reduktion von Freiheitsgraden
  - Orthogonalität von Eigenvektoren, Entkopplung der Bewegungsgleichungen
  - Gedämpfte Schwingungen, Dämpfungsmodelle
  - Numerische Integration der Bewegungsgleichung, Newmark-ß-Verfahren
  - Darstellung von Schwingungen im Zustandsraum
  - Allgemeines zur dynamischen Analyse von Strukturen

- Näherungsverfahren
  - Biegeschwingungen, Torsionsschwingungen, gekoppelte Biege-Torsionsschwingungen
  - Ritz’sches Verfahren, Galerkin’sches Verfahren

Experimentelle Modalanalyse

Literatur

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

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Wärme- und Stofftransport	1090

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10901	VL	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	4
10902	UE	Wärme- und Stofftransport	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

- Die Studierenden erhalten zunächst eine kurze Wiederholung der Eigenschaften der drei Arten von Wärmeübertragung: Wärmeleitung, konvektiver Wärmeübergang, Strahlung. Es wird eine Übersicht über Anwendungen in der Antriebs- und

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

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten.

Verwendbarkeit

Das Modul vertieft Inhalte des „Grundlagen der Wärmeübertragung“. Es bietet Methoden zur Analyse und Berechung 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
Regelungstechnik 2	2326

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23261	VL	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
23262	UE	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Höhere Mathematik", "Technische Mechanik", "Messtechnik", "Experimentalphysik", "Allgemeine Elektrotechnik" und "Regelungstechnik 1" des LRT-Bachelorstudiums.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Mehrgrößensystemen beschreiben und dessen Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit analysieren.
2. Die Studierenden sind in der Lage, das Verhalten von Mehrgrößensystemen mithilfe geeigneter Mehrgrößenregler gezielt zu beeinflussen.
3. Die Studierenden verfügen über grundlegende Kenntnisse in der digitalen Signalverarbeitung sowie in der Modellierung, Analyse und Synthese digitaler Regelkreise.

Inhalt

Im Modul Regelungstechnik 2 wird das in der Grundlagenvorlesung "Regelungstechnik 1" erworbene Wissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft:

1. Ausgehend von Eingrößensystemen werden Methoden zur Beschreibung und Analyse dynamischer Mehrgrößensysteme behandelt. Neben der Einführung grundlegender Begriffe (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden elementare Methoden zur Analyse des Systemverhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und zur Untersuchung der Steuer- und Beobachtbarkeit vermittelt.
2. Grundlagen zur Synthese linearer Mehrgrößenregler:
   - Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
   - Zustandsbeobachter,
   - erweiterte Regelungsstrukturen

3. Beschreibung und Analyse digitaler Mehrgrößensysteme:
   - Definition und Abtastsystem, Halteglied und zeitdiskreter Standardregelkreis
   - Beschreibung durch zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Umwandlung von kontinuierlichen Zustandsmodellen in zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Steuer- und Beobachtbarkeit
   - Stabilität

4. Grundlagen zur Synthese digitaler Regelungen:
   - Entwurf digitaler Regelungen
   - Digitaler PID-Regler
   - Optimale Regelung

Literatur

- J. Lunze: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 10. Auflage. Berlin: Springer–Verlag, 2020.
- F. Borrelli, A. Bemporad, and M. Morari: Predictive Control for Linear and Hybrid Systems, Cambridge University Press, 2017.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Steuer- und Regelungstechnik.
In diesem Studiengang:
- Voraussetzung für das Modul „Moderne Methoden der Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Multiagentenregelung**“**
- Voraussetzung für das Modul „Ausgewählte Kapitel 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
Computational Fluid Dynamics I	3827

Konto	PFL CAE-Methoden - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38271	VL	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	2
38272	UE	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	3
38273	UE	Computational Fluid Dynamics I - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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 Fluiddynamik, 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

Literatur

- Blazek J.: Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. Elsevier, Amsterdam, 2001.
- Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- Hirsch Charles: Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. I&II. Butterworth Heinemann, 2007.
- LeVeque Randall J.: Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics. Cambridge University Press, 2002.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Luftfahrtantriebe	1069

Konto	WPFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dragan Kožulovi#	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10691	VL	Luftfahrtantriebe	Pflicht	3
10692	UE	Luftfahrtantriebe	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- kennen die besonderen Merkmale von Turbofan- und Propeller-Triebwerken,
- können die Leistungsparameter von Turbofan- und Propeller-Triebwerken analysieren und die einzelnen Triebwerkskomponenten aufeinander abstimmen,
- kennen die Vor- und Nachteile verschiedener Triebwerkstypen und sind in der Lage, geeignete Triebwerkstypen für verschiedene Einsatzbereiche auszuwählen,
- verstehen die Besonderheiten des Überschallflugs und können den aerodynamischen Entwurf des Triebwerks darauf anpassen,
- verstehen das charakteristische Betriebsverhalten von Flugantrieben und können geeignete Regelungsstrategien anwenden.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Luftfahrtantriebe vertieftes Wissen über Turbofan- und Propeller-Triebwerke:

- Für beide Triebwerkstypen werden die jeweiligen Merkmale, Einsatzbereiche, Kennzahlen und aerothermodynamische Zusammenhänge erläutert.
- Es werden Grundlagen zur Berechnung des Schubs, des Wirkungsgrads und des spezifischen Triebstoffverbrauchs vermittelt.
- Wesentliche Einflussparameter auf die Triebwerksperformance werden dargelegt und geeignete Auslegungstrends abgeleitet.

Darüber hinaus erwerben die Studierenden in diesem Modul Grundlagenwissen über Besonderheiten des Überschallflugs und entsprechende Auswirkungen auf

den Triebwerksentwurf. Hierbei wird insbesondere auf die Auslegung geeigneter Überschalleinläufe, der Schubdüsen und des Nachbrenners eingegangen.

Das Modul schließt mit einer Einführung in das Betriebsverhalten von Flugantrieben und zugehöriger Komponenten ab. Hierbei wird auf Kennfelder von Verdichtern und Turbinen eingegangen sowie auf geeignete Regelungskonzepte.

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 ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Projektmanagement	1079

Konto	WPFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Koch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Qualifikationsziele

Die Studierenden
- kennen verschiedene Vorgehensmodelle des Projektmanagements.
- können zwischen verschiedenen Strategien zum Projektmanagement unterscheiden und deren Vor- und Nachteile bewerten.
- erwerben Fähigkeiten in der Anwendung von Methoden und Tools für das Projektmanagement.
- können ein Projekt vom Projektantrag bis zum Projektabschluss begleiten und den Projektmanager in seinen Tätigkeiten unterstützen.

Inhalt

Die Studierenden erhalten im Modul eine Einführung in die Thematik, spezifische Probleme und Lösungsansätze des Projektmanagements. Neben dem Erlernen von Methoden 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 und Fallstudien vertieft.
Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:
- Einführung,
  Diskussion der Grundlagen, Begriffsdefinitionen und Abgrenzungen
- Generisches Vorgehensmodell für das Projektmanagement, Aufgaben und Merkmale der einzelnen Phasen
- Strategien im Projektmanagement
- Methoden und Tools zur Unterstützung der einzelnen Phasen im Projektmanagement

Literatur
• 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. • Meyer & Reher: Projektmanagement: Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss; Springer Gabler; 2. Auflage 2020, ISBN: 9783658287627 • Beuth-Verlag, DIN 69901-1, DIN 69901-2, DIN 69901-3, 2009
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten. Als Hilfsmittel ist ein einseitig handschriftlich beschriebenes DIN-A4-Blatt zugelassen, das mit der Prüfung abgegeben werden muss.
Verwendbarkeit
Das Modul setzt die Studierenden in die Lage, als assistierender Projektleiter in kleinen bis mittleren Projekten zu fungieren und dabei in allen Phasen des Projektes gewinnbringend mitzuwirken. Des Weiteren können die Studierenden in Verwendungen mit grundlegenden Management-Aufgaben wie Ressourcen- und Personalplanung eingesetzt werden. Dies gilt für alle technisch orientierten Projekte im Bereich Luftfahrt, Raumfahrt und Fahrzeugbau etc.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Regelungstechnik 2	2326

Konto	WPFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bassam Alrifaee	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23261	VL	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
23262	UE	Regelungstechnik 2	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Höhere Mathematik", "Technische Mechanik", "Messtechnik", "Experimentalphysik", "Allgemeine Elektrotechnik" und "Regelungstechnik 1" des LRT-Bachelorstudiums.

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können das dynamische Verhalten von Mehrgrößensystemen beschreiben und dessen Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit analysieren.
2. Die Studierenden sind in der Lage, das Verhalten von Mehrgrößensystemen mithilfe geeigneter Mehrgrößenregler gezielt zu beeinflussen.
3. Die Studierenden verfügen über grundlegende Kenntnisse in der digitalen Signalverarbeitung sowie in der Modellierung, Analyse und Synthese digitaler Regelkreise.

Inhalt

Im Modul Regelungstechnik 2 wird das in der Grundlagenvorlesung "Regelungstechnik 1" erworbene Wissen zur Analyse und Synthese linearer kontinuierlicher Regelungs- und Steuerungssysteme vertieft:

1. Ausgehend von Eingrößensystemen werden Methoden zur Beschreibung und Analyse dynamischer Mehrgrößensysteme behandelt. Neben der Einführung grundlegender Begriffe (Zustandsvariablen, Zustandsgleichung, Zustandstrajektorie, Steuer- und Beobachtbarkeit, Stabilität) werden elementare Methoden zur Analyse des Systemverhaltens (Eigenwerte, Eigenbewegung, Stabilität) und zur Untersuchung der Steuer- und Beobachtbarkeit vermittelt.
2. Grundlagen zur Synthese linearer Mehrgrößenregler:
   - Entwurf linearer Zustandsrückführungen,
   - Zustandsbeobachter,
   - erweiterte Regelungsstrukturen

3. Beschreibung und Analyse digitaler Mehrgrößensysteme:
   - Definition und Abtastsystem, Halteglied und zeitdiskreter Standardregelkreis
   - Beschreibung durch zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Umwandlung von kontinuierlichen Zustandsmodellen in zeitdiskrete Zustandsmodelle
   - Steuer- und Beobachtbarkeit
   - Stabilität

4. Grundlagen zur Synthese digitaler Regelungen:
   - Entwurf digitaler Regelungen
   - Digitaler PID-Regler
   - Optimale Regelung

Literatur

- J. Lunze: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. 10. Auflage. Berlin: Springer–Verlag, 2020.
- F. Borrelli, A. Bemporad, and M. Morari: Predictive Control for Linear and Hybrid Systems, Cambridge University Press, 2017.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (ohne Hilfsmittel).

Verwendbarkeit

Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Steuer- und Regelungstechnik.
In diesem Studiengang:
- Voraussetzung für das Modul „Moderne Methoden der Regelungstechnik“
- Voraussetzung für das Modul „Multiagentenregelung**“**
- Voraussetzung für das Modul „Ausgewählte Kapitel 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
Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility	2501

Konto	WPFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schultz	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25011	VÜ	Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage:

- die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten über den Aufbau und den Betrieb des Flughafens zu kennen.
- die wichtigsten Strukturen am Flughafen und bei der Flugzeugabfertigung zu erinnern und operative Zusammenhänge zu verstehen.
- Randbedingungen für den sicheren, effizienten und ressourcenschonenden Betrieb zu kennen.
- die Einbindung des Flughafens in das intermodale Verkehrsmanagement zu verstehen und auf das Urbane Luftverkehrsmanagement zu transferieren.
- Methoden zur Bestimmung von Kapazitätskennzahlen zu kennen, eigenständig anzuwenden und die Ergebnisse zu beurteilen.
- Abfertigungsprozesse am Flughafen mathematisch zu verstehen und in Simulationsmodellen zu analysieren.
- Daten aus realen Prozessabläufen zu analysieren und zu bewerten, sowie Lösungen für Verbesserungsansätze zu entwickeln.

Inhalt

- Vorstellung verschiedener Systemteilnehmer und ihrer Aufgaben (bspw. Flugsicherung, Flughafen, Luftverkehrsgesellschaft, Bodenabfertiger).
- Vorstellung von rechtlichen Rahmenbedingungen sowie Safety- und Securityaspekte am Flughafen
- Beschreibung spezifischer Prozessabläufe für den effizienten Betrieb von Luftfahrzeugen am Boden (Start/Landung, Taxi, An- /Abflug)
- Passagierprozesse am Flughafen und Flugzeugturnaround
- Modellierung und Simulation von Prozessabläufen bei der Passagier- und Flugzeugabfertigung

- Herausforderungen bei der Integration von neuen Technologien und Verfahren
- Flughafen als intermodale Schnittstelle im Luftverkehrssystem, Skalierung zum Vertiport und Anforderungen aus der urbanen Mobilität
- Airport Collaborative Decission Making als Schlüsseltechnologie zum effizienten Management
- Digitalisierung und Automatisierung von Flughafenprozessen

Literatur

- Dieter Schmitt, Volker Gollnick: Air Transport System (Research Topics in Aerospace), 2016
- Heinrich Mensen: Moderne Flugsicherung: Organisation, Verfahren, Technik, 2014.
- Michael Schultz: Entwicklung eines individuenbasierten Modells zur Abbildung des Bewegungsverhaltens von Passagieren im Flughafenterminal, 2010.
- Cheng-Lung Wu: Airline Operations and Delay Management, 2010.
- Roland Conrady, Frank Fichert, Rüdiger Sterzenbach: Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2019.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:
- Programmierung eines Anwendungsfalls und Erstellen eines Ergebnisberichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in der der Anwendungsfall analysiert, die Programmieraufgabe dokumentiert und die geforderten Ergebnisse kritisch bewertet werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 18h) - 30%
- Schriftlicher Kenntnisnachweis (Dauer: 60 Minuten) - 70%

Verwendbarkeit

Erweiterung des spezifischen Fachwissens auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrttechnik.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Verkehrssystemtheorie	2502

Konto	WPFL Flugsystemtechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schultz	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25021	VÜ	Verkehrssystemtheorie	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage:

- die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Verkehrssystemtheorie zu verstehen.
- die Leistungsfähigkeit eines Verkehrssystems qualitativ und quantitativ zu bewerten.
- Mathematische und statistische Methoden zu verstehen sowie in analytische und modell-basierte Ansätze zu überführen.
- Modelle zur Abbildung von Verkehrsströmen zu kennen, eigenständig anzuwenden und die Ergebnisse zu beurteilen.

Inhalt

- Vermittlung von mathematischen und statistischen Grundlagen
- Deterministische und stochastische Modellierung von Verkehrsströmen
- Bestimmung von Kapazität und Leistungsfähigkeit von Transportsystemen, insbesondere mit Bezug auf das Luftverkehrssystem
- Grundlagen der Warteschlangentheorie
- Grundlagen von Modellierung, Simulation und Auswertung von Verkehrsprozessen
- Vorstellung und Implementierung von Optimierungsverfahren (bspw. kürzeste Wege)
- Meßverfahren, Datenerhebung und -bewertung

Literatur

- Dieter Schmitt, Volker Gollnick: Air Transport System (Research Topics in Aerospace), 2016.
- Heinrich Mensen: Moderne Flugsicherung: Organisatin, Verfahren, Technik, 2014.
- Cheng-Lung Wu: Airline Operations and Delay Management, 2010.
- Roland Conrady, Frank Fichert, Rüdiger Sterzenbach: Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2019.

Leistungsnachweis
Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen: • Programmierung eines Anwendungsfalls und Erstellen eines Ergebnisberichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in der der Anwendungsfall analysiert, die Programmieraufgabe dokumentiert und die geforderten Ergebnisse kritisch bewertet werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 18h) - 30% • Schriftlicher Kenntnisnachweis (Dauer: 60 Minuten) - 70%
Verwendbarkeit
Erweiterung des spezifischen Fachwissens auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrttechnik.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Flugzeugentwurf	1064

Konto	WPFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Grundlagen der Flugmechanik und Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele

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

13 Der/die Studierende kennt die Aufteilung der bei einem Flugzeugprojekt entstehenden Kosten.

Inhalt

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

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

Zunächst wird das Auslegungsdiagramm, in welchem die grundsätzlichen Entwurfsparameter "Schub/Gewichtsverhältnis" F/G über "Flächenbelastung" G/S aufgetragen sind, allgemein vorgestellt. Im weiteren Verlauf werden aus gestellten Leistungsforderungen Grenzen des Auslegungsdiagramms entwickelt.

Im ersten Schritt werden die Punktleistungen (Steigfähigkeit, Beschleunigungsfähigkeit, max. Fluggeschwindigkeit, Dienstgipfelhöhe, durchgehaltene und maximale Wenderaten) hergeleitet, sowie die daraus entstehenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Die Betrachtung der Missionsleistungen erfordert zunächst eine Darstellung möglicher Missionsarten, sowie die Gliederung einer Mission in Missionssegmente.

Im weiteren Verlauf werden Start- und Landestrecke betrachtet. Eine Aufteilung in Teilsegmente erlaubt die Abschätzung der benötigten Roll- und Gesamtstrecken. Anschließend werden die sich aus dieser Betrachtung ergebenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Weitere Grenzen wie z.B. Böenlastvielfache, Mindeststeigwinkel bei Triebwerksausfall etc. werden behandelt und dem Auslegungsdiagramm hinzugefügt. Abschließend ergibt sich ein Auslegungsbereich möglicher Kombinationen der Parameter G/S und F/G in dem der Auslegungspunkt gewählt werden muss.

Anschließend an die Behandlung des Auslegungsdiagramms werden Reichweiten- und Warteflug, sowie die Reichweitenoptimierung behandelt.

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

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

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

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

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

Literatur

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer 60 Minuten) - 50%
- Bearbeitung eines Entwurfsprojektes (Bearbeitungszeitraum: 10 Wochen, Nettobearbeitungszeit: 50h) - 50%

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Numerische Mathematik	1078

Konto	WPFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10781	VL	Numerische Mathematik	Pflicht	3
10782	UE	Numerische Mathematik	Pflicht	2
10783	UE	Numerische Mathematik - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Grundlagen der numerischen Mathematik und der Softwareentwicklung aus dem Bachelorstudium

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Literatur
• W. Dahmen und A. Reusken: Numerik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer Verlag, 2008 • G. Evans, J. Blackledge, P. Yardley: Numerical Methods for Partial Differential Equations, Springer Verlag, 2000 • J.H. Ferziger, M. Peric: Numerische Strömungsmechanik, Springer Verlag, 2007 • C. Grossmann, H.G. Roos: Numerik partieller Differentialgleichungen, Teubner-Verlag, 2005 • P. Knabner, L. Angermann: Numerik partieller Differentialgleichungen, Springer Verlag, 2000 • 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 • A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri: Numerische Mathematik 1 & 2, Springer Verlag, 2000 • H. Schwarz: Methode der Finiten Elemente, Teubner-Verlag, 1991 • Josef Stoer, Roland Buliersch: Numerische Mathematik 1 und 2, Springer Verlag, Berlin 1994, 1990
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 120 Minuten (Hilfsmittel: selbst angefertigte Mitschrift aus der Vorlesung (1x DIN A4 beidseitig beschrieben), kein Taschenrechner).
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 Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Additive Fertigung	1550

Konto	WPFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
15501	VÜ	Additive Fertigung	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Nach Bestehen dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage

- wesentliche additive Fertigungsverfahren zu nennen sowie deren Funktionsweise und Besonderheiten zu erklären.
- relevante Werkstoffe für die additive Fertigung aufzuzählen, deren wesentliche Eigenschaften zu erläutern.
- die Entstehung typischer Werkstoffdefekte auf Grundlage der Mikrostrukturentstehung zu erklären und hinsichtlich ihrer Auswirkungen zu bewerten.
- geeignete Werkstoffe für verschiedene Anwendungsszenarien zu bewerten und auszuwählen.
- den Entwicklungsprozess zu beschreiben, Gestaltungsmöglichkeiten und -richtlinien anhand einfacher Beispiele anzuwenden sowie die wesentlichen Unterschiede zu klassischen Fertigungsverfahren zu erklären.
- das Vorgehen in Bezug auf die Strukturberechnung und insbesondere der Topologieoptimierung darzustellen.

Inhalt

Die folgenden Inhalte werden innerhalb des Moduls behandelt:

- Grundbegriffe und Motivation
- Überblick über eingesetzte/nutzbare Werkstoffe
  - Metalle für die additive Fertigung
  - Polymere für die additive Fertigung
  - Ausblick auf andere Werkstoffklassen (Keramik, Verbundwerkstoffe)

- 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
- Lachmayer, R., Lippert, R.: Entwicklungsmethodik für die Additive Fertigung. Springer Vieweg, 2020

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Betriebsfestigkeit	3845

Konto	WPFL Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
apl. Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Bär Dr.-Ing. Steffen Rödling	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38451	VL	Betriebsfestigkeit	Pflicht	3
38452	UE	Betriebsfestigkeit	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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

- Ermüdungsverhalten metallischer Werkstoffe: Werkstoff- und Bauteilwöhlerlinie, Lebensdauerlinie, Kennwerte und Kennwertfunktionen der Beanspruchbarkeit für

die Berechnung, statistische Beschreibung der Lebensdauer, Einflussgrößen in der Ermüdungsfestigkeit
- 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

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
Flugzeugaerodynamik	1063

Konto	WPFL Aerothermodynamik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden sind in der Lage, dem Einfluss der Kompressibilität auf die Profilaerodynamik Rechnung zu tragen.

Die Studierenden beherrschen die Anwendung der Potentialgleichung bei kompressibler Strömung.

Die Schwierigkeiten des Flügels in der Transonik sind den Studierenden bekannt.

Die Studierenden wissen um die Auswirkung der Flügelpfeilung.

Die Studierenden kennen die Varianten mechanischer Hochauftriebshilfen und deren potentialtheoretische Berechnungsmethodik.

Den Studierenden ist die Berechnung von Strömungen an Verdichtungsstößen bzw. Expansionsfächern geläufig. Die Berechnung aerodynamischer Beiwerte an Profilen sowie die Grundzüge der Flächenregeln sind verstanden.

Die Studierenden verstehen die Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs.

Die Studierenden können die Umströmung einfacher Rumpfgeometrien mit Hilfe der Potentialtheorie nachvollziehen und kennen die mit reibungsbehafteter Strömung verbundenen Probleme und Gegenmaßnahmen.

Inhalt
• Kompressible Strömung/Aerodynamik • Pfeilflügel • Hochauftriebshilfen • Reine Überschallaerodynamik • Theorie schlanker Körper • Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs • Rumpfaerodynamik • Flügel-Rumpf-Kombination
Literatur
• Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 1. Springer Verlag, 2000. • Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 2. Springer Verlag, 2000. • Bertin J.J., Smith M.L.: Aerodynamics for Engineers. Prentice-Hall, 1989. • Anderson J.D.: Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill Book Company, 1984.
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung mit 75 Minuten Gesamtdauer bestehend aus 15 Minuten Kurzfragenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) und 60 Minuten Rechenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner und doppelseitig – auch maschinell – beschriebenes DIN A4 Blatt).
Verwendbarkeit
Die Flugzeugaerodynamik stellt die Voraussetzung für die aerodynamische Auslegung von Fluggeräten in allen Machzahlbereichen zur Verfügung.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester. Es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Luftfahrtantriebe	1069

Konto	WPFL Aerothermodynamik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dragan Kožulovi#	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10691	VL	Luftfahrtantriebe	Pflicht	3
10692	UE	Luftfahrtantriebe	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Die Studierenden:

- kennen die besonderen Merkmale von Turbofan- und Propeller-Triebwerken,
- können die Leistungsparameter von Turbofan- und Propeller-Triebwerken analysieren und die einzelnen Triebwerkskomponenten aufeinander abstimmen,
- kennen die Vor- und Nachteile verschiedener Triebwerkstypen und sind in der Lage, geeignete Triebwerkstypen für verschiedene Einsatzbereiche auszuwählen,
- verstehen die Besonderheiten des Überschallflugs und können den aerodynamischen Entwurf des Triebwerks darauf anpassen,
- verstehen das charakteristische Betriebsverhalten von Flugantrieben und können geeignete Regelungsstrategien anwenden.

Inhalt

Die Studierenden erwerben im Modul Luftfahrtantriebe vertieftes Wissen über Turbofan- und Propeller-Triebwerke:

- Für beide Triebwerkstypen werden die jeweiligen Merkmale, Einsatzbereiche, Kennzahlen und aerothermodynamische Zusammenhänge erläutert.
- Es werden Grundlagen zur Berechnung des Schubs, des Wirkungsgrads und des spezifischen Triebstoffverbrauchs vermittelt.
- Wesentliche Einflussparameter auf die Triebwerksperformance werden dargelegt und geeignete Auslegungstrends abgeleitet.

Darüber hinaus erwerben die Studierenden in diesem Modul Grundlagenwissen über Besonderheiten des Überschallflugs und entsprechende Auswirkungen auf

den Triebwerksentwurf. Hierbei wird insbesondere auf die Auslegung geeigneter Überschalleinläufe, der Schubdüsen und des Nachbrenners eingegangen.

Das Modul schließt mit einer Einführung in das Betriebsverhalten von Flugantrieben und zugehöriger Komponenten ab. Hierbei wird auf Kennfelder von Verdichtern und Turbinen eingegangen sowie auf geeignete Regelungskonzepte.

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 ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	1077

Konto	WPFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik bei ingenieurswissenschaftlichen Problemstellungen hinsichtlich Realisierbarkeit, Entropieproduktion und Quantifizierung erkennen.
2. Die Studierenden können für sehr einfache Fälle quantitative und ansonsten qualitative Aussagen treffen.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, die Annahmen, Begrenzungen und Vorteile der gegenwärtigen Möglichkeiten der Modellierungen der Kontinuums(fluid-) Mechanik zu beurteilen

Inhalt

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.

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.
2. Davon ausgehend werden drei Hauptthemengebiete in ihren Grundzügen betrachtet.
   - linear phänomenologische Theorie zur Beschreibung diffusiver Effekte,
   - Aufstellung makroskopischer Bilanzgleichungen und
   - Aufstellung mikroskopischer Bilanzgleichungen.
3. Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf einfache Beispielsituationen erweitert und relevante Anwendungen in numerischen Verfahren diskutiert.

Leistungsnachweis
Mündliche Prüfung 30 Minuten.
Verwendbarkeit
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.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Numerische Mathematik	1078

Konto	WPFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10781	VL	Numerische Mathematik	Pflicht	3
10782	UE	Numerische Mathematik	Pflicht	2
10783	UE	Numerische Mathematik - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Grundlagen der numerischen Mathematik und der Softwareentwicklung aus dem Bachelorstudium

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Literatur
• W. Dahmen und A. Reusken: Numerik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Springer Verlag, 2008 • G. Evans, J. Blackledge, P. Yardley: Numerical Methods for Partial Differential Equations, Springer Verlag, 2000 • J.H. Ferziger, M. Peric: Numerische Strömungsmechanik, Springer Verlag, 2007 • C. Grossmann, H.G. Roos: Numerik partieller Differentialgleichungen, Teubner-Verlag, 2005 • P. Knabner, L. Angermann: Numerik partieller Differentialgleichungen, Springer Verlag, 2000 • 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 • A. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri: Numerische Mathematik 1 & 2, Springer Verlag, 2000 • H. Schwarz: Methode der Finiten Elemente, Teubner-Verlag, 1991 • Josef Stoer, Roland Buliersch: Numerische Mathematik 1 und 2, Springer Verlag, Berlin 1994, 1990
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 120 Minuten (Hilfsmittel: selbst angefertigte Mitschrift aus der Vorlesung (1x DIN A4 beidseitig beschrieben), kein Taschenrechner).
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 Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Raumfahrtantriebe	1081

Konto	WPFL Aerothermodynamik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die physikalischen Grundlagen, Funktionsprinzipien und Systemarchitekturen verschiedener Raumfahrtantriebe erklären.
2. Die Studierenden sind in der Lage, Missionsanforderungen zu analysieren und grundlegende Entwurfsentscheidungen für chemische, elektrische und luftatmende Systeme zu treffen.
3. Die Studierenden können Antriebskonzepte hinsichtlich Leistung, Effizienz und technologischem Entwicklungsstand vergleichen und bewerten.

Inhalt

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen werden die physikalischen Prinzipien, Systemarchitekturen und praktischen Auslegungsmethoden verschiedener Raumfahrtantriebe behandelt. Neben der Analyse der Missionsanforderungen werden auch Entwurfs- und Betriebsaspekte diskutiert.

Vorlesung (Theorie und Systemkunde)

- Missionsanalyse und Trägerraketen
- Definition und fundamentale Leistungsparameter
- Flüssigkeitsraketenantriebe (Aufbau, Komponenten, Verbrennung und Instabilitäten)
- Feststoff- und Hybridraketen (interne Ballistik, Brennverhalten, Entwurfsprinzipien)
- Satelliten- und elektrische Antriebe (Funktionsweise, Anwendungen, Effizienz)
- Luftatmer (Ramjets, Scramjets, Detonationsmotoren)
- Zukunftskonzepte und Space Mobility

Übung / Seminar (Praktische Analyse und Entwurf)

- Anwendung theoretischer Modelle zur Dimensionierung von Raketenstufen und Satellitenantrieben
- Nutzung thermodynamischer Simulationstools (z. B. CEA) zur Bewertung der Leistungseigenschaften in Abhängigkeit von Treibstoff und Mischungsverhältnis.
- Entwurfsaufgaben zu Düsen, Injektoren und Feststoff-Booster-Konfigurationen
- Diskussion aktueller Forschungsthemen in Gastvorträgen

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 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
Flugsystemtechnik II	1062

Konto	WPFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10621	VÜ	Flugsystemtechnik II	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
Luftfahrttechnik, Flugsystemtechnik I

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

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

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

angesprochen.

Anschließend werden weitere, darauf aufbauende Subsysteme wie

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

behandelt.

Parallel werden als seminaristischer Anteil durch die Studierenden ausgewählte Einzelthemen, die an den behandelnden Inhalt angelagert sind, aufbereitet und in Form von Kurzpräsentationen vorgetragen.

Literatur

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer: 60 Minuten) - 80%
- Seminarvortrag (Bearbeitungszeit für die Vorbereitung: ca. 10h, Dauer: ca. 30 Minuten) - 20%

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugzeugaerodynamik	1063

Konto	WPFL Flugführungssysteme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

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

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

Inhalt
• Kompressible Strömung/Aerodynamik • Pfeilflügel • Hochauftriebshilfen • Reine Überschallaerodynamik • Theorie schlanker Körper • Aerodynamik des Triebwerkeinlaufs • Rumpfaerodynamik • Flügel-Rumpf-Kombination
Literatur
• Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 1. Springer Verlag, 2000. • Schlichting H., Truckenbrodt E.A.: Aerodynamik des Flugzeuges. Band 2. Springer Verlag, 2000. • Bertin J.J., Smith M.L.: Aerodynamics for Engineers. Prentice-Hall, 1989. • Anderson J.D.: Fundamentals of Aerodynamics. McGraw-Hill Book Company, 1984.
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung mit 75 Minuten Gesamtdauer bestehend aus 15 Minuten Kurzfragenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner) und 60 Minuten Rechenteil (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner und doppelseitig – auch maschinell – beschriebenes DIN A4 Blatt).
Verwendbarkeit
Die Flugzeugaerodynamik stellt die Voraussetzung für die aerodynamische Auslegung von Fluggeräten in allen Machzahlbereichen zur Verfügung.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester. Es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Satellitennavigation	2308

Konto	WPFL Flugführungssysteme - LRT 2026

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
150	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
23081	VÜ	Globale Satellitennavigationssysteme	Pflicht	4
23082	VÜ	Differentielle GNSS-Verfahren	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der höheren Mathematik (lineare Algebra) und von Raumfahrtsystemen, Grundkenntnisse der Signalverarbeitung und der elektrischen Messtechnik.

Qualifikationsziele

Die Veranstaltung hat folgende Qualifikationsziele:

- Die Absolventen können die Elemente der globale Satellitennavigationssysteme (GNSS) definieren (Systemarchitektur/Segmente), wie auch die zivilen und militärischen Einsatzgebiete.
- Sie können die Funktionsweise der Signalverarbeitung und der Positionierung konzeptionell und mathematisch darstellen und daher die Verwundbarkeit von GNSS bewerten.
- Sie können die Performanzmerkmale darlegen und bei Navigationsanwendungen anwenden.
- Sie verstehen die Datenverarbeitung, Algorithmik sowie das Fehlerbudget der differentiellen GNSS-Technik inkl. RTK und PPP und erinnern die dazugehörigen Anwendungen im zivilen und militärischen Bereich.
- Sie sind in Lage Softwaretools im Bereich der GNSS-Signalverarbeitung und Positionierung selbständig einzusetzen

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, Einzel- und Doppeldifferenzen
- DGNSS, RTK und PPP
- Anwendungsspektrum

Im Rahmen der Übungen werden mit MATLAB anwendungsnahe Programme unter Anleitung entwickelt oder modifiziert, welche mit realen Daten ausgeführt werden. Ein GNSS-Softwareempfänger wird genutzt, um alle Aspekte der Signalverarbeitung anhand realer Daten zu verstehen. Weiter werden Messungen und Versuchsaufbauten mit der Ausrüstung des Navigationslabors durchgeführt (z.B.: Jamming und Spoofing von GNSS).

Literatur

Den Studierenden stehen die Powerpoint-Folien, 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.
- K. Borre et al., „A software-defined GPS and Galileo receiver; a single frequency approach“, Birkhäuser.
- H. Dodel, D. Häupler, „Die Satellitennavigation“, Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- E. Kaplan, C. Hegarty, “Understanding GPS: principles and applications”, Artech house.
- P. Teunissen, O. Montenbruck (Eds.), „Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems”, Springer 2017

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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. Die Veranstaltung vermittelt das Basiswissen im Bereich Satellitennavigation und deckt den Systemaufbau, die Signalverarbeitung, die Positionierung sowie zahlreichen GNSS-Anwendungen ab.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Verkehrssystemtheorie	2502

Konto	WPFL Flugführungssysteme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schultz	Pflicht	2

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25021	VÜ	Verkehrssystemtheorie	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage:

- die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Verkehrssystemtheorie zu verstehen.
- die Leistungsfähigkeit eines Verkehrssystems qualitativ und quantitativ zu bewerten.
- Mathematische und statistische Methoden zu verstehen sowie in analytische und modell-basierte Ansätze zu überführen.
- Modelle zur Abbildung von Verkehrsströmen zu kennen, eigenständig anzuwenden und die Ergebnisse zu beurteilen.

Inhalt

- Vermittlung von mathematischen und statistischen Grundlagen
- Deterministische und stochastische Modellierung von Verkehrsströmen
- Bestimmung von Kapazität und Leistungsfähigkeit von Transportsystemen, insbesondere mit Bezug auf das Luftverkehrssystem
- Grundlagen der Warteschlangentheorie
- Grundlagen von Modellierung, Simulation und Auswertung von Verkehrsprozessen
- Vorstellung und Implementierung von Optimierungsverfahren (bspw. kürzeste Wege)
- Meßverfahren, Datenerhebung und -bewertung

Literatur

- Dieter Schmitt, Volker Gollnick: Air Transport System (Research Topics in Aerospace), 2016.
- Heinrich Mensen: Moderne Flugsicherung: Organisatin, Verfahren, Technik, 2014.
- Cheng-Lung Wu: Airline Operations and Delay Management, 2010.
- Roland Conrady, Frank Fichert, Rüdiger Sterzenbach: Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2019.

Leistungsnachweis
Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen: • Programmierung eines Anwendungsfalls und Erstellen eines Ergebnisberichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in der der Anwendungsfall analysiert, die Programmieraufgabe dokumentiert und die geforderten Ergebnisse kritisch bewertet werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 18h) - 30% • Schriftlicher Kenntnisnachweis (Dauer: 60 Minuten) - 70%
Verwendbarkeit
Erweiterung des spezifischen Fachwissens auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrttechnik.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Frühjahrstrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Luftverkehrsmanagement	2503

Konto	WPFL Flugführungssysteme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schultz	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25031	VÜ	Luftverkehrsmanagement	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen
Mathematik

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme am Modul sind die Studierenden in der Lage:

- die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten über das Luftverkehrsmanagement zu verstehen.
- die wichtigsten Aufgaben von Flugsicherung, Fluggesellschaften und Flughäfen sowie deren wechselseitigen Abhängigkeiten zu verstehen.
- Randbedingungen für den sicheren, effizienten und ressourcenschonenden Luftverkehrsbetrieb zu kennen.
- Methoden zur Bestimmung von Kapazitäts-, Belastungs-, und Effizienzkennzahlen zu kennen, eigenständig anzuwenden und die Ergebnisse zu beurteilen.
- Daten aus realen Flugverläufen zu analysieren und zu bewerten, sowie Lösungen für eine verbesserte Verkehrsführung zu entwickeln.
- Konzepte für ein urbanes Luftverkehrsmanagement zu verstehen und zu bewerten.
- die Anforderungen für Integration von neuen Technologien (bspw. Autonome Verkehre) und Verfahren zu verstehen.

Inhalt

- Beschreibung grundlegender Aspekte des Luftverkehrsmanagements in Europa, USA und Asien
- Definition rechtlicher und operativer Rahmenbedingungen (bspw. Luftraumstrukturen)
- Integrationsaspekte von verschiedensten Verkehrsteilnehmern (UAM, Weltraumflüge)
- Militärische Flugführung und zivil/militärische Integration
- Skalierung des Luftverkehrsmanagements auf den urbanen Raum
- Aspekte der Modellierung und Simulation von verschiendenen Aspekten des Kapazitäts- und Verkehrsmanagements

- Herausforderungen bei der Integration von neuen Technologien und Verfahren bei der Flugführung, Aufbau von Lotsenarbeitsplätzen
- Aspekte des Airlinemanagements und Umlaufplanung unter Berücksichtigung von Planabweichungen (Verspätungen, Störungen)
- Datenanalyse von Flugbewegungen (Big Data, Machine Learning)

Literatur

- Dieter Schmitt, Volker Gollnick: Air Transport System (Research Topics in Aerospace), 2016.
- Heinrich Mensen: Moderne Flugsicherung: Organisation, Verfahren, Technik, 2014.
- Cheng-Lung Wu: Airline Operations and Delay Management, 2010.
- Roland Conrady, Frank Fichert, Rüdiger Sterzenbach: Luftverkehr: Betriebswirtschaftliches Lehr- und Handbuch, 2019.

Leistungsnachweis

Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Programmierung eines Anwendungsfalls und Erstellen eines Ergebnisberichts (in Gruppenarbeit, max. 3 Personen je Gruppe), in der ein Anwendungsfall analysiert, die Programmieraufgabe dokumentiert und die geforderten Ergebnisse kritisch bewertet werden (Umfang ca. 20 Seiten, Nettobearbeitungszeit 18h) - 30%
- Schriftlicher Kenntnisnachweis (Dauer: 60 Minuten) - 70%

Verwendbarkeit

Erweiterung des spezifischen Fachwissens auf dem Gebiet der Luft- und Raumfahrttechnik

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Flugzeugentwurf	1064

Konto	WPFL Antriebe - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen
Grundlagen der Flugmechanik und Luftfahrttechnik

Qualifikationsziele

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

13 Der/die Studierende kennt die Aufteilung der bei einem Flugzeugprojekt entstehenden Kosten.

Inhalt

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

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

Zunächst wird das Auslegungsdiagramm, in welchem die grundsätzlichen Entwurfsparameter "Schub/Gewichtsverhältnis" F/G über "Flächenbelastung" G/S aufgetragen sind, allgemein vorgestellt. Im weiteren Verlauf werden aus gestellten Leistungsforderungen Grenzen des Auslegungsdiagramms entwickelt.

Im ersten Schritt werden die Punktleistungen (Steigfähigkeit, Beschleunigungsfähigkeit, max. Fluggeschwindigkeit, Dienstgipfelhöhe, durchgehaltene und maximale Wenderaten) hergeleitet, sowie die daraus entstehenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Die Betrachtung der Missionsleistungen erfordert zunächst eine Darstellung möglicher Missionsarten, sowie die Gliederung einer Mission in Missionssegmente.

Im weiteren Verlauf werden Start- und Landestrecke betrachtet. Eine Aufteilung in Teilsegmente erlaubt die Abschätzung der benötigten Roll- und Gesamtstrecken. Anschließend werden die sich aus dieser Betrachtung ergebenden Grenzen im Auslegungsdiagramm bestimmt.

Weitere Grenzen wie z.B. Böenlastvielfache, Mindeststeigwinkel bei Triebwerksausfall etc. werden behandelt und dem Auslegungsdiagramm hinzugefügt. Abschließend ergibt sich ein Auslegungsbereich möglicher Kombinationen der Parameter G/S und F/G in dem der Auslegungspunkt gewählt werden muss.

Anschließend an die Behandlung des Auslegungsdiagramms werden Reichweiten- und Warteflug, sowie die Reichweitenoptimierung behandelt.

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

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

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

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

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

Literatur

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

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Schriftliche Kenntnisüberprüfung (Dauer 60 Minuten) - 50%
- Bearbeitung eines Entwurfsprojektes (Bearbeitungszeitraum: 10 Wochen, Nettobearbeitungszeit: 50h) - 50%

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Messmethoden in der Strömungsmechanik	1072

Konto	WPFL Antriebe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. 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	3
10722	UE	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

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

- Versuchsanlagen für Modelluntersuchungen
- Verfahren zur Visualisierung von Strömungen
- 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

Mündliche Einzelprüfung mit 30 Minuten Dauer 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 Fluiddynamik", 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
Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	1088

Konto	WPFL Antriebe - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Eric Jägle	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10881	VL	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	4
10882	UE	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Bachelor-Studium LRT (insb. Vorlesung Werkstoffkunde)

Qualifikationsziele

- 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.
- Sie lernen, mittels bruchmechanischer Hilfsmittel die Grenzen der Einsetzbarkeit von Werkstoffen zu bewerten und die Lebensdauer von rissbehafteten Bauteilen abzuschätzen.
- Sie lernen die verschiedenen Arten des Werkstoffversagens unter zyklischer Belastung (Ermüdung) sowie deren theoretische Beschreibung kennen.
- Sie lernen die Mechanismen der zeitabhängigen plastischen Verformung bei erhöhten Temperaturen kennen und werden befähigt, die Zeitstandsfähigkeit zu berechnen.
- Sie kennen die Methoden des Werkstoffdesigns zur Verbesserung der Bruchzähigkeit, des Ermüdungsverhaltens und der Zeitstandsfähigkeit bei hohen Temperaturen.

Inhalt

1. Statische Beanspruchung: Bruchmechanik
   - Linearelastische Bruchmechanik (LEBM), Sprödbruch (Grundlagen, Grenzen der LEBM, R-Kurven-Konzept, Risszähigkeit)
   - Fließbruchmechanik (Kleinbereichsfließen, COD-Konzept, J-Integral)
   - Experimentelle Untersuchung des Bruchverhaltens
   - 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

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
Computational Fluid Dynamics I	3827

Konto	WPFL Antriebe - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38271	VL	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	2
38272	UE	Computational Fluid Dynamics I	Pflicht	3
38273	UE	Computational Fluid Dynamics I - Repetitorium	Pflicht	1
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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 Fluiddynamik, 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

Literatur

- Blazek J.: Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications. Elsevier, Amsterdam, 2001.
- Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- Hirsch Charles: Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. I&II. Butterworth Heinemann, 2007.
- LeVeque Randall J.: Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems. Cambridge Texts in Applied Mathematics. Cambridge University Press, 2002.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten (ohne Hilfsmittel)

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Aerothermodynamik	1048

Konto	WPFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die Bedeutung der Aerothermodynamik bei technischen Problemstellungen hinsichtlich Machbarkeit, Technologie und zukünftigen Trends einordnen.
2. Die Studierenden können für einfache Fälle mechanische und thermische Lasten abschätzen.
3. Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, für die jeweiligen Anwendungen sinnvolle Konfigurationen vorschlagen zu können.
4. Die Studenten bekommen Einblick in einige Phänomene, die nicht direkt LRT zuzuordnen sind.

Inhalt

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.

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.
2. Ausgehend von einer Betrachtung von reibungsfreien Über-/Hyperschallströmungen unter Idealgasannahme werden schrittweise zusätzliche Kopplungen wie z.B.Reibungseffekte, Effekte von einfachen chemischen Reaktionen im Gleichgewicht und Nichtgleichgewicht eingeführt und um Ansätze zur Beschreibung von Hochtemperaturgaseingeschaften erweitert.
3. Das erworbene Wissen wird durch die Anwendung auf insbesondere Erdweidereintritt sowie Reichweitenflug von Flugkörpern erweitert.

Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 75 Minuten.
Verwendbarkeit
Voraussetzung für wissenschaftliche Grundlagenuntersuchungen und angewandte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet insbesondere von Wiedereintrittsfluggeräten.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Erdbeobachtung	1055

Konto	WPFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10553	VÜ	Optische Fernerkundung	Pflicht	3
10554	VÜ	Radarfernerkundung	Pflicht	3
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Mathematik, Experimentalphysik, Messtechnik, Programmierkenntnisse.

Qualifikationsziele

Nach dem Bestehen des Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- moderne Fernerkundungsverfahren und -sensoren insbesondere aus dem Bereich der Radar- und optischen Fernerkundung darzulegen und zu vergleichen
- die Systemtechniken und die wesentlichen Auswerteverfahren unter Anwendung der digitalen Datenverarbeitung zu unterscheiden
- im Bereich der Radarfernerkundung die komplette Prozessierungskette zu beschreiben und die notwendigen Schritte vom rohen Radarsignal zum fokussierten SAR-Bild, sowie von fokussierten SAR-Bildern zu abgeleiteten Produkten wie Höhen- oder Veränderungskarten zu strukturieren.
- im Bereich der optischen Fernerkundung die geometrischen und spektralen Eigenschaften von Bilddaten zu identifizieren und verstehen, wie diese durch geeignete mathematische Modellierung zur Ableitung von Informationen genutzt werden können.
- die vielfältigen zivilen und militärischen Anwendungsbereiche der Erdbeobachtung zu benennen.

Inhalt

Optische Fernerkundung

- Optische Bilderzeugung und -aufnahme
- Grundlagen der Photogrammetrie
- Auswertung spektraler Informationen
- Landbedeckungsklassifikationen

Radarfernerkundung

- Grundlagen der Radartechnik
- Synthetik-Apertur-Prinzip
- Eigenschaften von SAR-Bildern
- SAR-Interferometrie (InSAR)
- Fortgeschrittene SAR-Methoden

Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten

Verwendbarkeit
Erweiterung des Grundwissens auf den Gebieten optische sowie Radarfernerkundung und anderer Erbdeobachtungsverfahren. Verständnis der Auswerteprozesse und Anwendungen bei der zivilen und militärischen Nutzung der Fernerkundung. Erarbeiten von Spezialwissen auf dem Gebiet der interferometrischen SAR-Verfahren beispielsweise zur Ableitung von digitalen Höhenmodellen als wesentliche zivile und militärische Planungsgrundlage.

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

Modulname	Modulnummer
Moderne Strukturwerkstoffe	1076

Konto	WPFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10761	VL	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	4
10762	UE	Moderne Strukturwerkstoffe	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

Nach Bestehen dieses Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- für gegebene Anforderungsfälle geeignete Werkstoffe systematisch auszuwählen und die ganzheitlichen Eigenschaftsprofile der verschiedenen Werkstoffe zu beurteilen.
- wichtige Werkstoffklassen der Luft- und Raumfahrt zu benennen, ihre Struktureigenschaften einzuschätzen, sowie den werkstoffkundlichen Hintergrund des Materialdesigns zu beschreiben.
- Grundzüge der Auslegung und Berechnung zusammenzufassen und wesentliche Einflussfaktoren für das Strukturverhalten einzuschätzen.

Inhalt

1. Werkstoffauswahl
   1. Auswahldiagramme und Werkstoffindices, softwarebasierte Werkstoffauswahl
   2. Gleichzeitige Optimierung mehrerer Größen
   3. Ökologische Werkstoffauswahl
   4. Prozesstechnische Aspekte der Werkstoffauswahl

2. Metalle für den Leichtbau
   1. Leichtmetalle (Al-, Ti-, Mg-Legierungen)
   2. Hochfeste Stähle
   3. Zelluläre Werkstoffe (Schäume, Gitterstrukturen, „architectured materials“)

3. 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

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
Projektmanagement	1079

Konto	WPFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Koch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Qualifikationsziele

Die Studierenden
- kennen verschiedene Vorgehensmodelle des Projektmanagements.
- können zwischen verschiedenen Strategien zum Projektmanagement unterscheiden und deren Vor- und Nachteile bewerten.
- erwerben Fähigkeiten in der Anwendung von Methoden und Tools für das Projektmanagement.
- können ein Projekt vom Projektantrag bis zum Projektabschluss begleiten und den Projektmanager in seinen Tätigkeiten unterstützen.

Inhalt

Die Studierenden erhalten im Modul eine Einführung in die Thematik, spezifische Probleme und Lösungsansätze des Projektmanagements. Neben dem Erlernen von Methoden 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 und Fallstudien vertieft.
Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:
- Einführung,
  Diskussion der Grundlagen, Begriffsdefinitionen und Abgrenzungen
- Generisches Vorgehensmodell für das Projektmanagement, Aufgaben und Merkmale der einzelnen Phasen
- Strategien im Projektmanagement
- Methoden und Tools zur Unterstützung der einzelnen Phasen im Projektmanagement

Literatur
• 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. • Meyer & Reher: Projektmanagement: Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss; Springer Gabler; 2. Auflage 2020, ISBN: 9783658287627 • Beuth-Verlag, DIN 69901-1, DIN 69901-2, DIN 69901-3, 2009
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten. Als Hilfsmittel ist ein einseitig handschriftlich beschriebenes DIN-A4-Blatt zugelassen, das mit der Prüfung abgegeben werden muss.
Verwendbarkeit
Das Modul setzt die Studierenden in die Lage, als assistierender Projektleiter in kleinen bis mittleren Projekten zu fungieren und dabei in allen Phasen des Projektes gewinnbringend mitzuwirken. Des Weiteren können die Studierenden in Verwendungen mit grundlegenden Management-Aufgaben wie Ressourcen- und Personalplanung eingesetzt werden. Dies gilt für alle technisch orientierten Projekte im Bereich Luftfahrt, Raumfahrt und Fahrzeugbau etc.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Strukturdynamik	1089

Konto	WPFL Raumfahrttechnik - LRT 2026

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
10891	VÜ	Strukturdynamik	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in "Festigkeitslehre" und "Schwingungslehre"

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

- die wesentlichen Verfahren zur Lösung der klassischen Schwingungsgleichungen für Strukturen mit kleiner Dämpfung und einer beliebigen Zahl von Freiheitsgraden benennen und zu erklären.
- Zwischen den Begriffen „Eigenfrequenz“, „Eigenform“, „Modale Masse“, „Modale Steifigkeit“ und „Modale Dämpfung“ zu differenzieren. Sie können Aufgabenstellungen korrekt in „Frequenzbereich“ bzw. „Zeitbereich“ einordnen.
- Den Unterschied zwischen analytischen und numerischen Lösungsverfahren für Schwingungsgleichungen erklären. Sie können die entsprechenden Verfahren auswählen und für einfache Aufgabenstellungen anwenden.
- Für ein gegebenes physikalisches Ersatzmodell ein geeignetes mathematisches Ersatzmodell zu erstellen und dieses mit geeigneten Methoden zu lösen.
- Für einfache Aufgabenstellungen geeignete Näherungsverfahren einzusetzen, um schnell erste Aussagen bzgl. des dynamischen Verhaltens von Strukturen machen zu können.

Inhalt

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

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Schwingungen von Feder-Masse-Systemen mit einem Freiheitsgrad
  - Freie, ungedämpfte Schwingungen
  - Erzwungene Schwingungen
    - Analytische Lösung einfacher Anregungen
    - Numerische Lösungsverfahren
  - Schwach gedämpfte Schwingungen
- Schwingungen von Systemen mit vielen Freiheitsgraden
  - Eigenfrequenzen und Eigenformen
  - Systematisches Aufstellen der Bewegungsgleichung
  - Erstellung der Steifigkeitsmatrix und Massenmatrix
  - Reduktion von Freiheitsgraden
  - Orthogonalität von Eigenvektoren, Entkopplung der Bewegungsgleichungen
  - Gedämpfte Schwingungen, Dämpfungsmodelle
  - Numerische Integration der Bewegungsgleichung, Newmark-ß-Verfahren
  - Darstellung von Schwingungen im Zustandsraum
  - Allgemeines zur dynamischen Analyse von Strukturen
- Näherungsverfahren
  - Biegeschwingungen, Torsionsschwingungen, gekoppelte Biege-Torsionsschwingungen
  - Ritz’sches Verfahren, Galerkin’sches Verfahren

Experimentelle Modalanalyse

Literatur

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

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Dynamik und Regelung von Satelliten	1054

Konto	WPFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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
10541	VL	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	3
10542	UE	Dynamik und Regelung von Satelliten	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				5

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse, wie sie in den Bachelor- und Master-Modulen der „Höheren Mathematik“, der „Technischen Mechanik“, "Regelungstechnik" sowie der „Physik“ 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:

- Einführung
- Lagekinematik
- Lagedynamik
- Kreiseldynamik
- Spin-Stabilisierung
- Gravitationsgradienten-Stabilisierung
- Dreiachsen-Stabilisierung
- Lagemanöver

Literatur

- Curtis H.D.: Orbital Mechanics for Engineering Students
- Sidi M.J.: Spacecraft Dynamics & Control
- Hughes P.C.: Spacecraft Attitude and Dynamcis
- Steiner, Schagerl: Raumflugmechanik

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten

- 30 Minuten Fragenteil: keine Hilfsmittel
- 60 Minuten Aufgabenteil: Formelsammlung, Taschenrechner

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Projektmanagement	1079

Konto	WPFL Weltraumnutzung - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Koch	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Qualifikationsziele

Die Studierenden
- kennen verschiedene Vorgehensmodelle des Projektmanagements.
- können zwischen verschiedenen Strategien zum Projektmanagement unterscheiden und deren Vor- und Nachteile bewerten.
- erwerben Fähigkeiten in der Anwendung von Methoden und Tools für das Projektmanagement.
- können ein Projekt vom Projektantrag bis zum Projektabschluss begleiten und den Projektmanager in seinen Tätigkeiten unterstützen.

Inhalt

Die Studierenden erhalten im Modul eine Einführung in die Thematik, spezifische Probleme und Lösungsansätze des Projektmanagements. Neben dem Erlernen von Methoden 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 und Fallstudien vertieft.
Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:
- Einführung,
  Diskussion der Grundlagen, Begriffsdefinitionen und Abgrenzungen
- Generisches Vorgehensmodell für das Projektmanagement, Aufgaben und Merkmale der einzelnen Phasen
- Strategien im Projektmanagement
- Methoden und Tools zur Unterstützung der einzelnen Phasen im Projektmanagement

Literatur
• 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. • Meyer & Reher: Projektmanagement: Von der Definition über die Projektplanung zum erfolgreichen Abschluss; Springer Gabler; 2. Auflage 2020, ISBN: 9783658287627 • Beuth-Verlag, DIN 69901-1, DIN 69901-2, DIN 69901-3, 2009
Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten. Als Hilfsmittel ist ein einseitig handschriftlich beschriebenes DIN-A4-Blatt zugelassen, das mit der Prüfung abgegeben werden muss.
Verwendbarkeit
Das Modul setzt die Studierenden in die Lage, als assistierender Projektleiter in kleinen bis mittleren Projekten zu fungieren und dabei in allen Phasen des Projektes gewinnbringend mitzuwirken. Des Weiteren können die Studierenden in Verwendungen mit grundlegenden Management-Aufgaben wie Ressourcen- und Personalplanung eingesetzt werden. Dies gilt für alle technisch orientierten Projekte im Bereich Luftfahrt, Raumfahrt und Fahrzeugbau etc.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Wintertrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Raumfahrtantriebe	1081

Konto	WPFL Weltraumnutzung - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

1. Die Studierenden können die physikalischen Grundlagen, Funktionsprinzipien und Systemarchitekturen verschiedener Raumfahrtantriebe erklären.
2. Die Studierenden sind in der Lage, Missionsanforderungen zu analysieren und grundlegende Entwurfsentscheidungen für chemische, elektrische und luftatmende Systeme zu treffen.
3. Die Studierenden können Antriebskonzepte hinsichtlich Leistung, Effizienz und technologischem Entwicklungsstand vergleichen und bewerten.

Inhalt

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen werden die physikalischen Prinzipien, Systemarchitekturen und praktischen Auslegungsmethoden verschiedener Raumfahrtantriebe behandelt. Neben der Analyse der Missionsanforderungen werden auch Entwurfs- und Betriebsaspekte diskutiert.

Vorlesung (Theorie und Systemkunde)

- Missionsanalyse und Trägerraketen
- Definition und fundamentale Leistungsparameter
- Flüssigkeitsraketenantriebe (Aufbau, Komponenten, Verbrennung und Instabilitäten)
- Feststoff- und Hybridraketen (interne Ballistik, Brennverhalten, Entwurfsprinzipien)
- Satelliten- und elektrische Antriebe (Funktionsweise, Anwendungen, Effizienz)
- Luftatmer (Ramjets, Scramjets, Detonationsmotoren)
- Zukunftskonzepte und Space Mobility

Übung / Seminar (Praktische Analyse und Entwurf)

- Anwendung theoretischer Modelle zur Dimensionierung von Raketenstufen und Satellitenantrieben
- Nutzung thermodynamischer Simulationstools (z. B. CEA) zur Bewertung der Leistungseigenschaften in Abhängigkeit von Treibstoff und Mischungsverhältnis.
- Entwurfsaufgaben zu Düsen, Injektoren und Feststoff-Booster-Konfigurationen
- Diskussion aktueller Forschungsthemen in Gastvorträgen

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 75 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
Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	2500

Konto	WPFL Weltraumnutzung - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Schmitt	Wahlpflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
25001	VÜ	Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	Pflicht	4
25002	UE	Aktuelles aus der Erdbeobachtungs-Forschung	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse der Höheren Mathematik (vor allem lineare Algebra und Statistik). Grundkenntnisse in der Programmierung von Algorithmen. Interesse an der Arbeit mit Bild- und Rastergeodaten.

Qualifikationsziele

Nach dem Bestehen des Moduls sind die Studierenden in der Lage,

- zu erklären zu welchem übergeordneten Zweck und mit welchen Methoden digitale Bilder automatisiert und rechnergestützt verarbeitet werden
- den Zusammenhang von Bild- und Signalverarbeitung darzustellen
- geeignete Methoden aus den Bereichen Bildverarbeitung, Signalverarbeitung und maschinellem Lernen auszuwählen und anzuwenden
- einfache Algorithmen in einer höheren Programmiersprache zu implementieren

Inhalt

- Grundlagen der Signalverarbeitung
  - Diskrete und kontinuierliche Signale
  - Fourier-Transformation und Spektrum
  - Faltung und Korrelation
  - Grundlegende Filter

- Bildverarbeitung
  - Digitale Repräsentation von Bildern
  - Histogramme und statistische Momente
  - Farbräume und -modelle
  - Zweidimensionale Faltung
  - Grundlegende 2D-Filter
  - Bildgradienten
  - Merkmalsextraktion

- Maschinelles Lernen
  - Arten des maschinellen Lernens (überwacht, unüberwacht)
  - Datenannotation
  - Training und Evaluation
  - Typische Modelle
  - Künstliche neuronale Netzwerke

Leistungsnachweis
Schriftliche Prüfung 90 Minuten.
Verwendbarkeit
Eine der Kernaufgaben in der Erdbeobachtung ist die Entwicklung von Verfahren und Algorithmen zur automatisierten Extraktion von Informationen aus Bilddaten und bildähnlichen Daten und Signalen. Dieses Modul stellt die dazu notwendigen Grundlagen bereit. Dabei sind die vermittelten Kenntnisse und Methoden auch übertragbar auf andere Bereiche der Luft- und Raumfahrttechnik, z.B. auf die Navigation, die industrielle Messtechnik oder die Auswertung von Sensordaten autonomer Systeme.
Dauer und Häufigkeit
Das Modul dauert ein Trimester, es findet im Herbsttrimester statt.

Modulname	Modulnummer
Optimale Steuerung und Regelung	1004

Konto	WPFL Autonome Systeme - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

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

- Modellierung und Formulierung von Optimalsteuerungsproblemen
- Notwendige Bedingungen für Optimalsteuerungsprobleme: lokales und globales Minimumprinzip
- Numerische Methoden für Optimalsteuerungsprobleme: indirekte Methoden und direkte Diskretisierungsmethoden
- Gitterbasierte Methoden auf Basis der Wertefunktion; Konstruktion von Feedback-Reglern
- Anwendung der Methoden in modell-prädiktive Regelungsverfahren
- Anwendungsbeispiele und deren praktische Lösung

Literatur

- M. Gerdts: Optimal Control of ODEs and DAEs, De Gruyter, Berlin, 2011.
- L. Grüne, J. Pannek: Nonlinear Model Predictive Control - Theory and Algorithms, 2nd Edition, Springer, 2017.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

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

Modulname	Modulnummer
Flugführungssysteme	1058

Konto	WPFL Autonome Systeme - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10581	VL	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10582	VL	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
10583	UE	Flugdynamik und Flugregelung	Pflicht	2
10584	UE	Flugführung und Navigation	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				8

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

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

Inhalt

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

Lehrveranstaltung „Flugdynamik & Flugregelung (FDFR)“:

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

- Die Studierenden erhalten einen Überblick über die Ziele und Aufgaben der Flugdynamik und Flugregelung, die Einordnung des Fachgebiets in die Disziplinen der Luftfahrttechnik und die Bedeutung in den Wirkungsschleifen der Flugführung.
- Die Studierenden werden mit den in der Flugzeuglängsbewegung wirkenden Kräften und Momenten vertraut gemacht. Dabei werden aus den verschiedenen Flugzuständen resultierenden Einflüsse untersucht und in der Schreibweise der aerodynamischen Derivative dargestellt. Dabei werden im Einzelnen die folgenden Aspekte behandelt:
  - Anstellwinkel- und Höhenrudereinfluss auf das Nickmoment
  - Nickdämpfung und Manöverpunkt
  - 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:
  - Windfahnenstabilität und weitere Derivative der Gierbewegung (z.B. Gierdämpfung, Giersteuerung, Seitenkraft)
  - Derivative der Rollbewegung (z.B. Rolldämpfung, Rollsteuerung)
  - Kopplungsmomente (z.B. Schiebe-Rollmoment, Roll-Giermoment)

- Die Studierenden erhalten einen detaillierten Einblick in die Herleitung der nichtlinearen Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Bewegungsdifferenzialgleichungen 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 Vorgaberegelung („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.
- 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.
- 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.
- Die Studenten werden mit den ersten Grundbegriffen des Luftverkehrsmanagements und der Luftraumstruktur vertraut gemacht.
- 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.
- Die Studierenden werden in die Grundlagen der wichtigsten Navigationssensoren bzw. -systeme eingeführt. In diesem Zusammenhang werden die Prinzipien der Funknavigation, Trägheitsnavigation und Satellitennavigation erläutert.
- 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.
- 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 & Warning System“) diskutiert.
- Die Studierenden lernen die wesentlichen Funktionen eines FMS („Flight Management System“) kennen.
- Die Studierenden erhalten einen ersten Einblick in Fragestellungen des Zusammenwirkens zwischen dem Menschen (Piloten), dem Flugzeug und den automatisierten Flugführungssystemen.

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 120 Minuten

Verwendbarkeit

In diesem Studiengang:
- Voraussetzung für das Modul „Flugsystemdynamik Rechnerpraktikum“
- Voraussetzung für das Modul „Flugführung & Automation“
- Voraussetzung für Teilnahme am App. Praktikum „Flugführungssysteme“

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert zwei Trimester, es beginnt mit Flugdynamik & Flugregelung im Wintertrimester und Flugführung & Navigation im Frühjahrstrimester.

Modulname	Modulnummer
Moderne Methoden der Regelungstechnik	1075

Konto	WPFL Autonome Systeme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Prof. Dr.-Ing. habil. Gunther Reißig	Pflicht	3

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnis der Inhalte aus folgenden Lehrveranstaltungen: „Höhere Mathematik“ und „Regelungstechnik 1“ des LRT-Bachelorstudiums, sowie „Regelungstechnik 2“ und „Praktikum Optimale Steuerung“. Es wird auch empfohlen, parallel „Optimale Steuerung und Regelung“ zu hören.

Qualifikationsziele

Nach Bestehen können die Studenten und Studentinnen

1. informell beschriebene Regelungsprobleme als Erreichbarkeits- bzw. Invarianzprobleme formal modellieren, einschließlich Regelkreis, Kostenfunktionale und Wertefunktionen;
2. Bellman-Operator und Wertefunktionen definieren und ihre wesentlichen Eigenschaften benennen;
3. Algorithmen zur Berechnung der Wertefunktionen und zur Synthese optimaler Regler angeben, anwenden und analysieren;
4. kontinuierliche Regelungsprobleme mittels Abstraktionen mit den im Modul behandelten Verfahren lösen.

Inhalt

Elemente der Optimalsteuerung diskreter Regelstrecken, die durch endliche Automaten mit Eingang und Störung beschrieben werden:

1. Problemklassen, Abgrenzung
2. Modellierung (Strecke, Regler, Regelkreis, Verhalten)
3. Definition von Erreichbarkeits- und Invarianzproblem
4. Kostenfunktionale und Wertefunktionen
5. Bellman-Operator und Fixpunktcharakterisierung der Wertefunktionen
6. Verfahren zur Berechnung von Wertefunktionen

7. Reglerentwurf
8. Grundzüge abstraktionsbasierter Regelungsverfahren

Literatur

- D. Bertsekas, „Dynamic Programming and Optimal Control“, Athena Sci 2020
- P. Tabuada, Verification and control of hybrid systems, Springer 2009

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten ohne Hilfsmittel.

Verwendbarkeit

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

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Praktikum Optimale Steuerung	1355

Konto	WPFL Autonome Systeme - LRT 2026

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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

Kenntnisse, wie sie in Modulen „Höhere Mathematik“ oder „Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften“ vermittelt werden.

Qualifikationsziele

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

Die Studierenden kennen numerische Verfahren zur Lösung von Optimalsteuerungsproblemen und können Softwarepakete wie OCPID-DAE1 anwenden, um konkrete Optimalsteuerungsprobleme zu lösen.

Die Studierenden können die berechneten Lösungen hinsichtlich Realisierbarkeit interpretieren und können die Lösungen in mobilen Robotern implementieren.

Die Studierenden sind mit einfachen Regelungsmethoden zur Verfolgung einer Sollbahn vertraut und können Sensorinformationen verwerten.

Inhalt

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

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:

- Tutorial für das Softwarepaket OCPID-DAE1
- Implementierung einfacher Optimalsteuerungsprobleme unter Verwendung von mobilen Robotern.
- Verfolgung optimaler Bahnen durch einfache Regelungsstrategien unter Verwendung von Sensoren zur Positionsbestimmung

Leistungsnachweis

Notenschein: Portfolio, bestehend auf den Teilleistungen:

- schriftlicher Praktikumsbericht (Netto-Bearbeitungszeit: 20h, Umfang maximal 20 Seiten)

Verwendbarkeit

Anwendung des erlangten Wissens in der Masterarbeit und in Modulen aus dem Bereich der optimale Steuerung.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	1481

Konto	WPFL Autonome Systeme - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Honorarprofessor Dr.-Ing. Johann Bals Dr.-Ing. Tobias Bellmann	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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				3

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

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

Inhalt

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

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

- Modellbibliotheken
- Symbolverarbeitung und Code-Generierung
- Numerische Lösungsverfahren

Ergänzend zur Vorlesung werden praktische Rechnerübungen mit Anwendungsbeispielen angeboten. Die Übung findet als Blockveranstaltung im DLR TechLab 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

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

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
Optimale Steuerung und Regelung	1004

Konto	WPFL CAE-Methoden - LRT 2026

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

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

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

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

- Modellierung und Formulierung von Optimalsteuerungsproblemen
- Notwendige Bedingungen für Optimalsteuerungsprobleme: lokales und globales Minimumprinzip
- Numerische Methoden für Optimalsteuerungsprobleme: indirekte Methoden und direkte Diskretisierungsmethoden
- Gitterbasierte Methoden auf Basis der Wertefunktion; Konstruktion von Feedback-Reglern
- Anwendung der Methoden in modell-prädiktive Regelungsverfahren
- Anwendungsbeispiele und deren praktische Lösung

Literatur

- M. Gerdts: Optimal Control of ODEs and DAEs, De Gruyter, Berlin, 2011.
- L. Grüne, J. Pannek: Nonlinear Model Predictive Control - Theory and Algorithms, 2nd Edition, Springer, 2017.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten

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

Modulname	Modulnummer
Gasdynamik	1066

Konto	WPFL CAE-Methoden - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
PD Dr. rer. nat. habil. 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
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				4

Empfohlene Voraussetzungen

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

Qualifikationsziele

- Die Studierenden können Form und Lage auftretender Verdichtungsstöße und Expansionswellen bei der Umströmung von zweidimensionalen Körpern sowie der Durchströmung von Düsen vorhersagen
- Die Studierenden können Änderungen der Strömungsgrößen in zweidimensionalen kompressiblen Strömungen berechnen
- Die Studierenden können das Charakteristikenverfahren zur Berechnung von Überschallströmungen für einfache Fälle anwenden
- Die Studierenden kennen die wesentlichen Realgaseffekte und wissen, wann sie auftreten und berücksichtigt werden müssen
- Die Studierenden haben Grundkenntnisse über die Temperatureffekte bei kompressiblen Grenzschichtströmungen
- Die Studierenden sind mit der Erzeugung von Überschallströmung vertraut und kennen Beispiele für die wesentliche Messtechnik zur Analyse kompressibler Strömung

Inhalt

- Thermodynamische Grundlagen
- Die Gasdynamische Grundgleichung
- Die linearisierte Potentialgleichung
- Senkrechter Verdichtungsstoß
- Schiefer Verdichtungsstoß
- Prandtl-Meyer Strömung
- Wechselwirkung von Stößen und Expansionen
- Charakteristikenverfahren

- Düsenströmung
- Realgaseffekte
- Grenzschichten in kompressiblen Strömungen
- Versuchsanlagen
- Messmethoden der Gasdynamik

Literatur

- Anderson, J.D. (2004). Modern Compressible Flow with Historical Perspective, Mc Graw-Hill
- Anderson, J.D. (2006). Hypersonic and hightemperature gas dynamics. American Institute of Aeronautics and Astronautics
- Hirschel, E.H. (2015). Basics of Aerothermodynamics, Springer-Verlag
- Jischa, M. (1982). Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch, Vieweg
- Krause, E. (2003). Strömungslehre, Gasdynamik und Aerodynamisches Laboratorium. Springer-Verlag
- Liepmann, H.W., & Roshko, A. (2001). Elements of gasdynamics. Courier Corporation
- Sauer, R. (2013). Theoretische Einführung in die Gasdynamik, Springer-Verlag
- White, F.M. (2016). Fluid Mechanics, in SI Units, Mc Graw-Hill

Leistungsnachweis

Schriftliche Prüfung 90 Minuten (Hilfsmittel: nicht-programmierbarer Taschenrechner).

Verwendbarkeit

Die Inhalte der Vorlesung liefern die theoretischen Grundlagen und das notwendige Verständnis zur Analyse und Vorhersage von kompressiblen Strömungen. Die erworbenen Kenntnisse über transsonische, supersonische und hypersonische Strömung bilden die Grundlage für ein tieferes Verständnis der Strömungsphänomene in der Luft – und Raumfahrttechnik.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Leichtbaustrukturen	1068

Konto	WPFL CAE-Methoden - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10681	VÜ	Leichtbaustrukturen	Pflicht	6
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Vorausgesetzt werden Kenntnisse in „Festigkeitslehre“ und „Leichtbau“

Qualifikationsziele

Nach erfolgreicher Teilnahme an dem Modul sind die Studierenden in der Lage

1. mehrfach statisch unbestimmte Strukturen zu analysieren sowie Schnittlastverläufe und Verformungen zu ermitteln.
2. die wesentlichen Mechanismen, die bei der Einleitung konzentrierter Kräfte in dünnwandige Strukturen wirken, darzustellen. Sie können die dabei auftretenden Spannungen ermitteln und ihre Auswirkungen auf praktische Problemstellungen übertragen und beurteilen.
3. die verschiedenen Versagensarten von Leichtbaustrukturen aufzuzählen und hinsichtlich ihrer Ursachen und Wirkung zu erklären und zu differenzieren.
4. die Berechnungsmethoden für diskrete und kontinuierliche Tragwerke zu erklären und anzuwenden.
5. stabilitätskritische Lasten für stabartige Tragwerke und einfache dünnwandige Strukturen zu bestimmen und die Ergebnisse kritisch zu beurteilen.
6. die Wirkungsweise von Membrankreiszylinderschalen mit und ohne Umfangsversteifungen zu erklären.

Inhalt

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 Membrankreiszylinderschalen wird gegeben.

Das Modul gliedert sich in folgende Abschnitte:

- Arbeits- und Energiemethoden
  - Äußere Arbeit und Formänderungsenergie
  - Satz von Betti und Maxwell
  - Kraftgrößenverfahren, Verschiebungsbeiwerte
  - Berechnung statisch unbestimmter Strukturen

- Lasteinleitung & Lastumleitung in Leichtbaustrukturen
  - Krafteinleitungen
  - Dreigurtscheibe

- Stabilität von Leichtbaustrukturen
  - Stab-Feder-Systeme
    - Verzweigungs- und Duchschlagsprobleme
    - Stab-Feder-Systeme
    - Systeme mit mehreren Freiheitsgraden
    - Kombinierte Beanspruchungen (Interaktionsformeln)

  - Elastische Tragwerke: Balken
    - Balken mit Vorverformung
    - Näherungsverfahren für Balken
    - Elastisch gebetteter Balken, Sandwichknittern
    - Biegedrillknicken, Kippen

  - Elastische Tragwerke: Platten/Schalen
    - Plattenbeulen
    - Teilschaleninstabilitäten
    - Beulen von Kreiszylinderschalen
    - Konzept der mittragenden Breite und des Zugfeldes

- Statik der Kreiszylinderschalen
  - Übertragungsmatrix der Membranschale
  - umfangsbiegesteife Kreiszylinderschale, Spantmatrix

Literatur

- Kossira H.: Grundlagen des Leichtbaus. Einführung in die Theorie dünnwandiger stabförmiger Tragwerke. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1996.
- Wiedemann J.: Leichtbau. Elemente und Konstruktion. Berlin: Springer Verlag, 2007.
- Pflüger A.: Stabilitätsprobleme der Elastostatik. Berlin: Springer-Verlag, 1975.
- Niu M.C.Y.: Airframe Stress Analysis and Sizing. Hong Kong: Hong Kong Conmilit Press Ltd., 1999.

Leistungsnachweis

Mündliche Prüfung 30 Minuten.

Dauer und Häufigkeit

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

Modulname	Modulnummer
Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	1088

Konto	WPFL CAE-Methoden - LRT 2026

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Eric Jägle	Pflicht	1

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

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
10881	VL	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	4
10882	UE	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Pflicht	2
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

Empfohlene Voraussetzungen

Bachelor-Studium LRT (insb. Vorlesung Werkstoffkunde)

Qualifikationsziele

- 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.
- Sie lernen, mittels bruchmechanischer Hilfsmittel die Grenzen der Einsetzbarkeit von Werkstoffen zu bewerten und die Lebensdauer von rissbehafteten Bauteilen abzuschätzen.
- Sie lernen die verschiedenen Arten des Werkstoffversagens unter zyklischer Belastung (Ermüdung) sowie deren theoretische Beschreibung kennen.
- Sie lernen die Mechanismen der zeitabhängigen plastischen Verformung bei erhöhten Temperaturen kennen und werden befähigt, die Zeitstandsfähigkeit zu berechnen.
- Sie kennen die Methoden des Werkstoffdesigns zur Verbesserung der Bruchzähigkeit, des Ermüdungsverhaltens und der Zeitstandsfähigkeit bei hohen Temperaturen.

Inhalt

1. Statische Beanspruchung: Bruchmechanik
   - Linearelastische Bruchmechanik (LEBM), Sprödbruch (Grundlagen, Grenzen der LEBM, R-Kurven-Konzept, Risszähigkeit)
   - Fließbruchmechanik (Kleinbereichsfließen, COD-Konzept, J-Integral)
   - Experimentelle Untersuchung des Bruchverhaltens
   - 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

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
Computational Fluid Dynamics II	3828

Konto	WPFL CAE-Methoden - LRT 2026

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	72	78	5

Zugehörige Lehrveranstaltungen:

Nr.	Art	Veranstaltungsname	Teilnahme	TWS
38281	VL	Computational Fluid Dynamics II	Pflicht	2
38282	UE	Computational Fluid Dynamics II	Pflicht	4
Summe (Pflicht und Wahlpflicht)				6

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 Wäremübergang und Fluid-Struktur Interaktion, rundet die Vorlesung ab.

Inhalt

- Large Eddy Simulation
- Hybride RANS-LES Verfahren
- Zweiphasenströmungen mit bewegter Phasengrenze
- Partikelströmungen
- Verbrennungsmodellierung
- Überschallströmungen
- Explosionen
- Zukunftsthemen: Fluid-Struktur-Interaktion, Wechselseitiger Wärmeübergang, Lattice-Boltzmann Verfahren, Nicht-Newtonsche Fluide

Literatur

- Ferziger J.H., Peric M.: Numerische Strömungsmechanik. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.
- Poinsot T., Veynante D.: Theoretical and Numerical Combustion, Edwards, 2007.

- 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: Portfolio, bestehend aus den Teilleistungen:

- Bearbeitung eines CFD-Projektes (Nettobearbeitungsumfang: 90h) - 80%
- Abschlusspräsentation 15 Minuten - 20%

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
studium plus 3, Seminar und Training	9903

Konto	Studium+ Master

Modulverantwortliche/r	Modultyp	Empf. Trimester
Zentralinstitut studium plus	Pflicht	

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

Qualifikationsziele

***studium plus*-Seminare:** Die Studierenden erwerben profunde **Allgemeinbildung und Schlüsselqualifikationen** für künftige Führungskräfte, um das Studium als starke, mündige Persönlichkeiten zu verlassen. Die *studium plus*-Seminare bereiten die Studierenden dadurch auf ihre Berufs- und Lebenswelt vor und ergänzen die im Studium erworbenen Fachkenntnisse. Die Allgemeinbildung und die Befähigung zu ganzheitlichem Denken erweitern die Perspektive des Fachstudiums. Dadurch lernen die Studierenden, das im Fachstudium erworbene Wissen in komplexe Zusammenhänge einzuordnen und ausgewählte Themen in Relation zu anderen Wissenschaften zu setzen.

Die exemplarische Auseinandersetzung mit gesellschaftsrelevanten Fragestellungen befähigt die Studierenden zu eigenständiger Urteilsbildung und kompetenter Positionierung in aktuellen Diskussionen, schult ihre personalen, sozialen und methodischen Kompetenzen und erweitert ihre Führungsqualitäten z.B. durch die Einführung in Konfliktlösungsstrategien und interkulturellen Dialog. Damit verfügen die Studierenden über zentrale Schlüsselkompetenzen für ihr späteres Berufsleben innerhalb wie außerhalb der Bundeswehr. Durch die Vermittlung von Wissen werden die mündige Teilhabe an sozialen, kulturellen und politischen Prozessen der modernen Gesellschaft und daraus entspringendes verantwortliches Handeln gefördert. Damit steht die Persönlichkeitsbildung der Studierenden in ihren intellektuellen, ethischen und pragmatisch-sozialen Dimensionen im Fokus.

***studium plus*-Trainings**: Die Studierenden erwerben **personale, soziale und methodische Kompetenze**n, um als Führungskräfte auch unter komplexen und teils widersprüchlichen Anforderungen handlungsfähig zu bleiben bzw. um ihre Handlungskompetenz wiederzuerlangen. Damit ergänzt das Trainingsangebot die im Rahmen des Studiums erworbenen Fachkenntnisse insofern, als diese fachlichen Kenntnisse von den Studierenden in einen berufspraktischen Kontext eingebettet werden können und Möglichkeiten zur Reflexion des eigenen Handelns angeboten werden.

Inhalt

Die ***studium plus* -Seminare** bieten Lerninhalte, die Allgemeinbildung und Schlüsselqualifikationen vermitteln und 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 **Allgemeinbildung** werden die Studierenden beispielsweise

mit den Grundlagen fachfremder Wissenschaften vertraut gemacht, sie lernen Denkweisen und "Kulturen" anderer wissenschaftlicher Disziplinen und Wissensgebiete kennen. Bei der Vermittlung von **Orientierungswissen** im Sinne der Erkenntnis politischer Zusammenhänge, historischer Hintergründe und ethischer Fragestellungen steigern die Studierenden ihr Reflexionsniveau, indem sie sich exemplarisch mit gesellschaftsrelevanten Themen auseinandersetzen. Bei der Vermittlung von Partizipationswissen steht der Erwerb von Schlüsselkompetenzen im Vordergrund.
Die Seminare finden wöchentlich 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 *studium plus*- Trainings entsprechen den Trainings für Führungskräfte in modernen Unternehmen und bieten **berufsrelevante** und an den Themen der aktuellen Führungskräfteentwicklung von Organisationen und Unternehmen orientierte **Lerninhalte und Komptenzen**. Sie finden überwiegend am Wochenende statt. 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 Formen möglich: Seminararbeit, Portfolio (bestehend aus mehreren kleinen Teilleistungen: Referat, Hausarbeit, Gruppenarbeit, Mitarbeit in der Lehrveranstaltung etc.). Bei einem Portfolio erhält der Studierende verbindliche Angaben darüber, mit welchem prozentualen Anteil die jeweiligen Teilleistungen gewichtet werden. Der bzw. die Modulverantwortliche gibt zu Beginn der jeweiligen Veranstaltung bekannt, welcher Leistungsnachweis aus den genannten Alternativen verlangt wird, wie lange die konkrete Bearbeitungszeit beträgt und welchen Umfang die zu erbringende Leistung hat. Der Erwerb des Scheins ist an die regelmäßige Anwesenheit und aktive Mitarbeit 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**: in Trainings werden Teilnahmescheine erworben. Die erfolgreiche Teilnahme setzt aktive, engagierte Mitarbeit im Training sowie respektvollen Umgang miteinander voraus. Die Trainings sind unbenotet, die Zuerkennung der ECTS-Leistungspunkte setzt jedoch die aktive, engagierte Teilnahme an der gesamten Trainingszeit voraus.

Verwendbarkeit

Das Modul ist für sämtliche Masterstudiengänge gleichermaßen geeignet.

Dauer und Häufigkeit

Das Modul dauert 2 mal 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
		7	**Pflicht- und Wahlpflichtmodule schwerpunktübergreifend 2026**		**248**
3	3	1004	Optimale Steuerung und Regelung	M. Gerdts	5
4	4	1048	Aerothermodynamik	C. Mundt	5
3	3	1049	Antriebskomponenten	D. Kožulovi#	5
4	4	1050	Autonome Systeme	M. Mählisch	5
3	3	1052	Chemische Thermodynamik	C. Mundt	5
4	4	1054	Dynamik und Regelung von Satelliten	R. Förstner	5
1	1	1055	Erdbeobachtung	M. Schmitt	5
3	3	1056	Filter- und Schätzverfahren	M. Mählisch	5
2	2	1057	Finite Elemente	P. Höfer	5
1	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	Luftfahrtantriebe	D. Kožulovi#	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
2	2	1072	Messmethoden in der Strömungsmechanik	C. Kähler	5
3	3	1075	Moderne Methoden der Regelungstechnik	G. Reißig	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	A. Koch	5
4	4	1081	Raumfahrtantriebe	C. Mundt	5
1	1	1086	Satellitensysteme	R. Förstner	5
3	3	1087	Sensortechnik	M. Mählisch	5
1	1	1088	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	E. Jägle	5
3	3	1089	Strukturdynamik	P. Höfer	5
3	3	1090	Wärme- und Stofftransport	M. Kögl	5
2	2	1355	Praktikum Optimale Steuerung	M. Gerdts	3
3	3	1423	Methoden in der Produktentwicklung	A. Koch	5

2	2	1461	Orbitmechanik und Missionsanalyse	R. Förstner	5
4	4	1481	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	J. Bals	3
4	4	1550	Additive Fertigung	P. Höfer	5
4	4	2307	Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung	T. Pany	5
2	2	2308	Satellitennavigation	T. Pany	5
3	3	2309	Robuste Navigation	T. Pany	5
1	1	2326	Regelungstechnik 2	B. Alrifaee	5
2	2	2327	Multiagentenregelung	B. Alrifaee	5
3	3	2500	Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	M. Schmitt	5
3	3	2501	Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility	M. Schultz	5
2	2	2502	Verkehrssystemtheorie	M. Schultz	5
3	3	2503	Luftverkehrsmanagement	M. Schultz	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
		8	**Wahlmodule alle - LRT 2026**		**14**
4	4	1065	FVW-Strukturen	P. Höfer	5
2	2	1080	Prozessrechentechnik	M. Mählisch	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	1356	Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung	M. Johlitz	3
3	3	1492	Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/Thermofluiddynamik	T. Sander	3
4	4	1516	Fernflugkörper	M. Schiller	4
		1519	Auslandsaufenthalt	N. N.	0
		1520	Munich Aerospace	N. N.	0
3	3	1621	Praktische Flugversuchstechnik	M. Strohal	4
3	3	1622	Satellitenbetrieb	F. Huber	3
4	4	1623	Satellitenbetrieb Praxis	F. Huber	3
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	2322	Thermalkontrolle von Raumfahrtsystemen	A. Brandl	3
4	4	2323	Sicherheitskritische Systeme	M. Strohal	4
4	4	2324	KI-Agenten in der Simulation	J. Kiam	3
4	4	2325	Ausgewählte Kapitel der Regelungstechnik	B. Alrifaee	3
4	4	2329	Betrieb von Luftfahrzeugen	E. Stemmer	5
3	3	3000	Flugzeugbau	J. Bold	3
4	4	3489	Entwicklungsmanagement	A. Koch	5
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	3910	Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte	R. Förstner	3
5	5	6066	Elektrische Antriebe für Satelliten	J. Schein	5
		9	**Masterarbeit - LRT 2026**		**30**
5		1096	Masterarbeit LRT	N. N.	30
		10	**Projekt, Apparatives Prak - LRT 2026**		**59**
4	4	1178	Apparatives Praktikum Antriebstechnik	D. Kožulovi#	5
4	4	1179	Apparatives Praktikum Autonome Systeme	M. Mählisch	5
4	4	1180	Apparatives Praktikum Flugführungssysteme	A. Schulte	5
4	4	1181	Apparatives Praktikum Fluiddynamik	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	B. Alrifaee	5
4	4	1187	Apparatives Praktikum Thermodynamik	C. Mundt	5
2		1188	Projekt	N. N.	9
4	4	2504	Apparatives Praktikum Weltraumnutzung	T. Pany	5
4	4	3832	Apparatives Praktikum Bauweisen & Werkstoffe	P. Höfer	5
		11	**PFL Flugsystemtechnik - LRT 2026**		**37**
1	2	1058	Flugführungssysteme	A. Schulte	7
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	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
		12	**PFL Studienschwerpunkt Bauweisen Werkstoffe - LRT 2026**		**40**
2	2	1057	Finite Elemente	P. Höfer	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
2	2	1068	Leichtbaustrukturen	P. Höfer	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
3	3	1076	Moderne Strukturwerkstoffe	P. Höfer	5
1	1	1088	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	E. Jägle	5
3	3	1089	Strukturdynamik	P. Höfer	5
3	3	1423	Methoden in der Produktentwicklung	A. Koch	5
		13	**Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Aerothermodynamik 2026**		**40**
4	4	1048	Aerothermodynamik	C. Mundt	5
3	3	1052	Chemische Thermodynamik	C. Mundt	5
1	1	1066	Gasdynamik	S. Scharnowski	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
2	2	1072	Messmethoden in der Strömungsmechanik	C. Kähler	5
3	3	1090	Wärme- und Stofftransport	M. Kögl	5
3	3	3827	Computational Fluid Dynamics I	M. Klein	5
		14	**Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Flugführungssysteme - LRT 2026**		**37**
1	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
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
1	1	2326	Regelungstechnik 2	B. Alrifaee	5
		15	**Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Antriebe - LRT 2026**		**40**
3	3	1049	Antriebskomponenten	D. Kožulovi#	5
3	3	1061	Flugsystemtechnik I	P. Stütz	5
1	1	1066	Gasdynamik	S. Scharnowski	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
2	2	1069	Luftfahrtantriebe	D. Kožulovi#	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
4	4	1081	Raumfahrtantriebe	C. Mundt	5
3	3	1090	Wärme- und Stofftransport	M. Kögl	5
		16	**Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Raumfahrttechnik - LRT 2026**		**40**
4	4	1054	Dynamik und Regelung von Satelliten	R. Förstner	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
4	4	1081	Raumfahrtantriebe	C. Mundt	5
1	1	1086	Satellitensysteme	R. Förstner	5
2	2	1461	Orbitmechanik und Missionsanalyse	R. Förstner	5
2	2	2308	Satellitennavigation	T. Pany	5
1	1	2326	Regelungstechnik 2	B. Alrifaee	5
		17	**Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Weltraumnutzung - LRT 2026**		**40**
1	1	1055	Erdbeobachtung	M. Schmitt	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
1	1	1086	Satellitensysteme	R. Förstner	5
2	2	1461	Orbitmechanik und Missionsanalyse	R. Förstner	5
4	4	2307	Ausgewählte Kapitel der Weltraumnutzung	T. Pany	5
2	2	2308	Satellitennavigation	T. Pany	5
3	3	2309	Robuste Navigation	T. Pany	5
		18	**Pflichtmodule Studienschwerpunkt: Autonome Systeme - LRT 2026**		**35**
4	4	1050	Autonome Systeme	M. Mählisch	5
3	3	1056	Filter- und Schätzverfahren	M. Mählisch	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
3	3	1087	Sensortechnik	M. Mählisch	5
1	1	2326	Regelungstechnik 2	B. Alrifaee	5
2	2	2327	Multiagentenregelung	B. Alrifaee	5
		20	**Pflichtmodule Studienschwerpunkt: CAE-Methoden - LRT 2026**		**40**
2	2	1057	Finite Elemente	P. Höfer	5
1	1	1067	Höhere Technische Mechanik	A. Lion	5
1	1	1071	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	M. Gerdts	5
2	2	1078	Numerische Mathematik	M. Klein	5
3	3	1089	Strukturdynamik	P. Höfer	5

3	3	1090	Wärme- und Stofftransport	M. Kögl	5
1	1	2326	Regelungstechnik 2	B. Alrifaee	5
3	3	3827	Computational Fluid Dynamics I	M. Klein	5
		21	**WPFL Flugsystemtechnik - LRT 2026**		**25**
2	2	1069	Luftfahrtantriebe	D. Kožulovi#	5
4	4	1079	Projektmanagement	A. Koch	5
1	1	2326	Regelungstechnik 2	B. Alrifaee	5
3	3	2501	Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility	M. Schultz	5
2	2	2502	Verkehrssystemtheorie	M. Schultz	5
		22	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Bauweisen und Werkstoffe - LRT 2026**		**25**
2	2	1064	Flugzeugentwurf	P. Stütz	5
2	2	1078	Numerische Mathematik	M. Klein	5
4	4	1550	Additive Fertigung	P. Höfer	5
3	3	3845	Betriebsfestigkeit	J. Bär	5
		23	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Aerothermodynamik - LRT 2026**		**25**
1	1	1063	Flugzeugaerodynamik	C. Kähler	5
2	2	1069	Luftfahrtantriebe	D. Kožulovi#	5
1	1	1077	Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	C. Mundt	5
2	2	1078	Numerische Mathematik	M. Klein	5
4	4	1081	Raumfahrtantriebe	C. Mundt	5
		24	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Flugführungssysteme - LRT 2026**		**26**
4	4	1062	Flugsystemtechnik II	P. Stütz	5
1	1	1063	Flugzeugaerodynamik	C. Kähler	5
2	2	2308	Satellitennavigation	T. Pany	5
2	2	2502	Verkehrssystemtheorie	M. Schultz	5
3	3	2503	Luftverkehrsmanagement	M. Schultz	5
		25	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Antriebe - LRT 2026**		**20**
2	2	1064	Flugzeugentwurf	P. Stütz	5
2	2	1072	Messmethoden in der Strömungsmechanik	C. Kähler	5
1	1	1088	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	E. Jägle	5
3	3	3827	Computational Fluid Dynamics I	M. Klein	5
		26	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Raumfahrttechnik - LRT 2026**		**28**
4	4	1048	Aerothermodynamik	C. Mundt	5
1	1	1055	Erdbeobachtung	M. Schmitt	5
3	3	1076	Moderne Strukturwerkstoffe	P. Höfer	5
4	4	1079	Projektmanagement	A. Koch	5
3	3	1089	Strukturdynamik	P. Höfer	5
		27	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Weltraumnutzung - LRT 2026**		**25**
4	4	1054	Dynamik und Regelung von Satelliten	R. Förstner	5
4	4	1079	Projektmanagement	A. Koch	5
4	4	1081	Raumfahrtantriebe	C. Mundt	5
3	3	2500	Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	M. Schmitt	5
		28	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: Autonome Systeme - LRT 2026**		**17**
3	3	1004	Optimale Steuerung und Regelung	M. Gerdts	5
1	2	1058	Flugführungssysteme	A. Schulte	7

3	3	1075	Moderne Methoden der Regelungstechnik	G. Reißig	5
2	2	1355	Praktikum Optimale Steuerung	M. Gerdts	3
4	4	1481	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	J. Bals	3
		30	**Wahlpflichtmodule Studienschwerpunkt: CAE-Methoden - LRT 2026**		**25**
3	3	1004	Optimale Steuerung und Regelung	M. Gerdts	5
1	1	1066	Gasdynamik	S. Scharnowski	5
2	2	1068	Leichtbaustrukturen	P. Höfer	5
1	1	1088	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	E. Jägle	5
4	4	3828	Computational Fluid Dynamics II	M. Klein	5
		31	**Munich Aerospace - LRT 2026**		
		99MA (neu)	**Verpflichtendes Begleitstudium plus**		**5**
		9903	studium plus 3, Seminar und Training	Z. studium plus	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
	10583	Flugdynamik und Flugregelung	Übung	Pf	2
	10584	Flugführung und Navigation	Übung	Pf	2
	10783	Numerische Mathematik - Repetitorium	Übung	Pf	1
	25002	Aktuelles aus der Erdbeobachtungs-Forschung	Übung	Pf	2
	38273	Computational Fluid Dynamics I - Repetitorium	Übung	Pf	1
1	10553	Optische Fernerkundung	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	10554	Radarfernerkundung	Vorlesung/Übung	Pf	3
1	10581	Flugdynamik und Flugregelung	Vorlesung	Pf	2
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	10711	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	Vorlesung	Pf	4
1	10712	Mathematische Methoden in den Ingenieurwissenschaften	Übung	Pf	2
1	10771	Nichtgleichgewichts-Thermodynamik	Vorlesung/Übung	Pf	4
1	10861	Satellitensysteme	Vorlesung	Pf	3
1	10862	Satellitensysteme	Übung	Pf	2
1	10881	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Vorlesung	Pf	4
1	10882	Statische und dynamische Beanspruchung von Werkstoffen	Übung	Pf	2
1	23261	Regelungstechnik 2	Vorlesung	Pf	3
1	23262	Regelungstechnik 2	Übung	Pf	3
2	10571	Finite Elemente	Vorlesung/Übung	Pf	6
2	10582	Flugführung und Navigation	Vorlesung	Pf	2
2	10641	Flugzeugentwurf	Vorlesung/Übung	Pf	5
2	10681	Leichtbaustrukturen	Vorlesung/Übung	Pf	6
2	10691	Luftfahrtantriebe	Vorlesung	Pf	3
2	10692	Luftfahrtantriebe	Übung	Pf	2
2	10721	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Vorlesung	Pf	3
2	10722	Messmethoden in der Strömungsmechanik	Übung	Pf	1
2	10781	Numerische Mathematik	Vorlesung	Pf	3
2	10782	Numerische Mathematik	Übung	Pf	2
2	10801	Prozessrechentechnik	Vorlesung	Pf	2
2	10802	Prozessrechentechnik	Übung	Pf	2
2	11721	Flugbahnoptimierung, Blockveranstaltung	Vorlesung	Pf	2

2	11722	Flugbahnoptimierung	Übung	Pf	1
2	11723	Flugbahnoptimierung	Praktikum	Pf	1
2	13551	Optimale Steuerung - Praktikum	Vorlesung	Pf	1
2	13552	Optimale Steuerung - Praktikum	Übung	Pf	3
2	14611	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Vorlesung	Pf	3
2	14612	Orbitmechanik und Missionsanalyse	Übung	Pf	2
2	23081	Globale Satellitennavigationssysteme	Vorlesung/Übung	Pf	4
2	23082	Differentielle GNSS-Verfahren	Vorlesung/Übung	Pf	2
2	23271	Multiagentenregelung	Vorlesung	Pf	3
2	23272	Multiagentenregelung	Übung	Pf	3
2	25021	Verkehrssystemtheorie	Vorlesung/Übung	Pf	6
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	5
3	10751	Moderne Methoden der Regelungstechnik	Vorlesung	Pf	2
3	10752	Moderne Methoden der Regelungstechnik	Übung	Pf	2
3	10761	Moderne Strukturwerkstoffe	Vorlesung	Pf	4
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	6
3	10901	Wärme- und Stofftransport	Vorlesung	Pf	4
3	10902	Wärme- und Stofftransport	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	13561	Experimentelle Mechanik und Materialmodellierung	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	14231	Methoden in der Produktentwicklung	Vorlesung	Pf	4
3	14232	Methoden in der Produktentwicklung	Übung	Pf	2
3	14921	Optische Messmethoden in der Aerothermodynamik/Thermofluiddynamik	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	16211	Praktische Flugversuchstechnik	Praktikum	Pf	4
3	16221	Satellitenbetrieb	Vorlesung	Pf	2
3	18951	Werkstoffe für militärische Anwendungen	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	18961	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen	Vorlesung	Pf	1
3	18962	Angewandte Künstliche Intelligenz (KI) in Entscheidungsprozessen	Übung	Pf	2
3	23091	GNSS in Luft- und Raumfahrt	Vorlesung/Übung	Pf	2

3	23092	Integrierte Navigation	Vorlesung/Übung	Pf	4
3	23221	Thermalkontrolle von Raumfahrtsystemen	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	25001	Bild- und Signalverarbeitung für die Erdbeobachtung	Vorlesung/Übung	Pf	4
3	25011	Flugplatzbetrieb und Urban Air Mobility Veranstaltung	Vorlesung/Übung	Pf	6
3	25031	Luftverkehrsmanagement	Vorlesung/Übung	Pf	6
3	30001	Flugzeugbau	Vorlesung/Übung	Pf	3
3	35081	Die deutsche Raumfahrt – Bedeutung, Politik, Struktur	Vorlesung	Pf	4
3	38271	Computational Fluid Dynamics I	Vorlesung	Pf	2
3	38272	Computational Fluid Dynamics I	Übung	Pf	3
3	38451	Betriebsfestigkeit	Vorlesung	Pf	3
3	38452	Betriebsfestigkeit	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	3
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	6
4	10651	FVW-Strukturen	Vorlesung/Übung	Pf	5
4	10791	Projektmanagement	Vorlesung	WPf	2
4	10792	Projektmanagement	Übung	WPf	2
4	10811	Raumfahrtantriebe	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	10923	Weltraumwetter und Schwerefeld	Vorlesung	Pf	1
4	10924	Weltraumwetter und Schwerefeld	Übung	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: Fluiddynamik	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	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	14811	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	Vorlesung	Pf	2
4	14812	Modellierung und Simulation mechatronischer Systeme	Übung	Pf	1
4	15161	Fernflugkörper	Vorlesung	Pf	4
4	15501	Additive Fertigung	Vorlesung/Übung	Pf	6
4	16231	Satellitenbetrieb Praxis	Vorlesung	Pf	2
4	16232	Satellitenbetrieb Praxis	Übung		2
4	18971	Technische Verbrennung	Vorlesung	Pf	3
4	18972	Technische Verbrennung	Übung	Pf	1
4	23071	Verschlüsselungsverfahren bei GNSS	Vorlesung/Übung	Pf	1
4	23231	Sicherheitskritische Systeme	Vorlesung/Übung	Pf	4
4	23241	KI-Agenten in der Simulation	Vorlesung	Pf	1
4	23242	KI-Agenten in der Simulation	Übung	Pf	2
4	23251	Ausgewählte Kapitel der Regelungstechnik	Vorlesung	Pf	4

4	23291	Betrieb von Luftfahrzeugen	Vorlesung	Pf	2
4	23292	Verteidigungsbeschaffung	Vorlesung	Pf	1
4	23293	Technischer Betrieb und Instandhaltung von Luftfahrzeugen	Vorlesung	Pf	1
4	25041	Apparatives Praktikum Weltraumnutzung	Praktikum	Pf	4
4	34172	Einführung in Space Communications	Vorlesung/Übung	Pf	2
4	34891	Entwicklungsmanagement	Vorlesung	Pf	4
4	34892	Entwicklungsmanagement	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	4
4	38301	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Vorlesung	Pf	3
4	38302	Turbulente Strömungen in der Natur und Technik	Übung	Pf	1
4	38321	Apparatives Praktikum: Bauweisen & Werkstoffe	Praktikum	Pf	5
4	39101	Übersicht europäischer Raumfahrtaktivitäten – Programme, wissenschaftliche Ziele, operationelle Aspekte	Vorlesung/Übung	Pf	3
5	60661	Elektrische Antriebe für die Satellitentechnik	Vorlesung/ Übung/Praktikum	WPf	5