

# Masterstudiengang Master of Science Programm Aerospace Engineering

---

Modulhandbuch - spezifische Module / Module Handbook - specific modules

Stand: 28.02.2024



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

© TU Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau 2024

---

---

## Master Thesis

Master`s Thesis (General Description) .....	4
---	---

## Compulsory courses

Advanced Design Project (General Description) .....	6
External Project work (General Description) .....	8
Tutorial (General Description).....	11

## Electives Area Ia Fundamentals

Maschinendynamik.....	13
Sustainable Systems Design .....	15
Transport Phenomena.....	17

## Electives Area Ib Digitalisation

Digitalisierung in der Produktion .....	19
Machine Learning Applications.....	21
Smart Products, Engineering & Services .....	23

## Electives Area II Core Electives from Mechanical Engineering (32 CP)

### Electives Area II Core Electives from Aerospace Engineering (mind. 24 CP)

Advanced Fluid Mechanics I.....	25
Avionics System Safety .....	27
Aerodynamics II.....	29
Composite Structures .....	31
Compressible and Irrotational Flow .....	33
Flight Mechanics II: Dynamics .....	35
Flight Propulsion.....	37
Fundamentals of Space Systems.....	39
High Temperature Materials Behaviour I.....	41
Introduction to Turbulence .....	43
Laser Measurement Technology .....	45
Lightweight Engineering I .....	47
Lightweight Engineering II .....	49
Mechatronic Systems I .....	51
Mechatronic Systems II.....	53
Modeling of Turbulent Flows.....	55
Space Systems and Operations .....	57

## Electives Area III Electives from the Natural Sciences and Engineering (18-24 CP)

### Electives Area III Electives from Aerospace Engineering (mind. 12 CP)

Compressor Technology.....	59
Fundamentals of Navigation I.....	61
Fundamentals of Navigation II.....	63
Future Air Transportation Systems.....	65
Global Satellite Navigation Systems and Orbit Determination.....	67
High Temperature Materials Behaviour II.....	69
High-Accuracy Methods for Computational Fluid Dynamics .....	71
Selected Topics of Space Propulsion.....	73
Space Debris – Risks, Surveillance and Mitigation.....	75
Space Flight Mechanics.....	77
Space Propulsion and Space Transportation Systems .....	79
Systemic Evaluation of Air Traffic .....	81
Uncertainty Quantification: Methods, Applications, Challenges .....	83

#### Hinweis/Note:

Voraussetzungen haben empfehlenden Charakter. Für die Masterkurse des Maschinenbaus wird ein abgeschlossenes Bachelorstudium vorausgesetzt.

Prerequisites for participation are recommendatory. A suitable bachelor's degree is required.

#### Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme

##### Abkürzungen für die Master-Studiengänge/Abbreviations for Master of Science Programs:

MB	Maschinenbau
AE	Aerospace Engineering
PST	Paper Science and Technology – Papiertechnik und biobasierte Faserwerkstoffe

Die Angaben zum Masterstudiengang *Aerospace Engineering* im Kernlehr- und im Nat\_Ing-Bereich (WPB II und III) weisen die spezifischen AE-Module in diesen Bereichen aus.

##### Abkürzungen für die Schwerpunkte/Abbreviations for Focus areas:

SUR	Sustainable Use of Resources
CEPE	Clean Energy and Process Engineering
FAS	Future Automotive Systems
DbPR	Digital based Production and Robotics

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Master-Thesis (Generalbeschreibung)					
<b>Master`s Thesis (General Description)</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-ma-5000/30	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 30 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 900 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 900 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> WiSe und/oder SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Studiendekan*in Fachbereich Maschinenbau		
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Aktuelle Aufgabenstellungen aus der Forschung der anbietenden Fachgebiete. Prüfung: Jeder hauptamtliche Professor oder jede hauptamtliche Professorin des Fachbereichs Maschinenbau. Eine Thesis in einem Schwerpunkt oder einem spezifischen Masterstudiengang muss im jeweiligen Themenspektrum verfasst sein. Im Falle einer externen Thesis, darf sich das Thema nicht mit den Inhalten der externen Projektarbeit überschneiden. Current research topic from the general research area of the administering institute. Examination: Every full-time professor of the Department of Mechanical Engineering. A thesis in a main focus or a specific master program of studies must be written in the respective subject spectrum. In case of an external thesis, the subject may not overlap with the contents of the external project work.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Masterthesis erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: 1. Ein gestelltes Forschungsthema unter Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Methoden selbstständig zu bearbeiten. 2. Den wissenschaftlichen Kenntnisstand zu erweitern. 3. Die Ergebnisse in schriftlicher und mündlicher Form mit hohem wissenschaftlichen Anspruch zu präsentieren. On successful completion of the Master Thesis, students should be able to: 1. Independently solve scientific questions in a structured manner using accepted engineering science methods. 2. Extend existing knowledge with their results. 3. Present their work in written and oral form in a scientifically acceptable manner.				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Mögliche Voraussetzungen werden vom anbietenden Fachgebiet bei der Aufgabenstellung angegeben. Eine Thesis in einem Schwerpunkt oder einem spezifischen Masterstudiengang muss im jeweiligen Themenspektrum verfasst sein. Im Falle einer externen Thesis, darf sich das Thema nicht mit den Inhalten der externen Projektarbeit überschneiden. Possible prerequisites will be prescribed by the individual institute supervising the thesis. A thesis in a main focus or a specific master program of studies must be written in the respective subject spectrum. In case of an external thesis, the subject may not overlap with the contents of the external project work.				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Thesis: Schriftliche Ausarbeitung sowie ein Kolloquium (Vortragsdauer mit anschließender Diskussion: 40 min). Thesis: Written thesis and a seminar presentation followed by discussion (40 min).				
<b>6</b>	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>				

	Bestehen der Prüfungsleistungen / Passing the examinations.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfungen; Schriftliche Ausarbeitung (100%) Standard (Ziffernote) und Kolloquium (0 %) bnb (bestanden/nicht bestanden) / Technical Examinations; Written Thesis (100%) Standard (Number grades) and Colloquium Pass/Fail Grading System
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> Master MB Master-Thesis Master AE Master Thesis Master PST Master-Thesis
9	<b>Literatur / Literature</b> abhängig vom Themengebiet will depend on topic

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Advanced Design Project (Generalbeschreibung)					
<b>Advanced Design Project (General Description)</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-	6 CP	180 h	ca. 60 h	1 Semester	WiSe / SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Deutsch/Englisch / German/English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Studiendekan*in Fachbereich Maschinenbau		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
		Advanced Design Project	Projektarbeit / Project	ca. 120 h	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	Aktuelle Aufgabenstellungen aus dem Fokus der anbietenden Fachgebiete. Prüfung: Jeder hauptamtliche Professor oder jede hauptamtliche Professorin des Fachbereichs Maschinenbau.				
	Current research topic from the general area of the administering institute. Examination: Every full-time professor of the Department of Mechanical Engineering				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eine Gestaltungsaufgabe mithilfe der Entwicklungsmethodik des Maschinenbaus zu lösen oder eine komplexe, ergebnisoffene Forschungsfrage in Zusammenarbeit mit weiteren Personen zu analysieren, zu strukturieren, analytische und/oder numerische und/oder experimentelle Methoden auszuwählen, Lösungsvarianten zu generieren, zu bewerten und auszuwählen</li> <li>2. Ggf. komplexe Probleme der industriellen Praxis und /oder der Forschung zu modellieren und zu simulieren.</li> <li>3. Im Team Lösungsvarianten zu finden und zu bewerten.</li> <li>4. Die Grundzüge der Arbeits- und Zeitplanung bei komplexen Aufgaben gegebenenfalls wiederholt zu praktizieren.</li> <li>5. Unterschiedliche Rollen in einem Team auszufüllen.</li> <li>6. Divergierende Standpunkte zu vertreten und eine Problemlösung zu entwickeln.</li> <li>7. Die Problemlösung kritisch zu reflektieren.</li> </ol>				
	Erläuterung: Bei der Gestaltungsaufgabe kann es sich beispielsweise um eine Konstruktion oder um die Entwicklung eines Prozesses, einer Regelungsstrategie oder eines Bedienkonzeptes handeln.				
	On successful completion of this module, students should be able to:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solve a creation task with the help of the design methodology of mechanical engineering or to analyse and structure a complex and open ended research question in collaboration with other people, to Select and apply analytic and/or numeric and/or experimental methods to the problem, to generate variant solutions, and to assess and select them.</li> <li>2. Model and simulate complex problems of industrial practice and research, if necessary.</li> <li>3. Find and evaluate solution variants within a team.</li> <li>4. Create and follow a work and time schedule to complete the complex problems, adjusting as necessary.</li> <li>5. Perform different roles in a team.</li> <li>6. Represent and assess divergent positions and develop a solution for the problem.</li> </ol>				

	<p>7. Critically reflect the solution to the problem.  Explanation: The design task might be a mechanical design or the development of a process, a control strategy or a Human-Machine-Interface.</p>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Mögliche Voraussetzungen werden vom anbietenden Fachgebiet bei der Aufgabenstellung angegeben.  Possible prerequisites will be prescribed by the individual institute supervising the project.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Sonderform: Schriftliche Ausarbeitung (80 %) und mündliche Prüfung (20 %, 5-15 min pro Person, variiert nach Gruppengröße; Gruppenprüfung mind. 30 min) /Special type: Written report (80 %) and oral exam (20 %, 5-15 min per person, varies after group size; group examination mind. 30 min).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  Master MB ADP  Master AE ADP  Master PST ADP  Mechatronik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Abhängig vom Projekt; wird vom Fachgebiet bekannt gegeben.  Will depend on topic; available upon announcement.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Externe Projektarbeit (Generalbeschreibung)					
<b>External Project work (General Description)</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-cc-e061	6 CP	180 h		Mindestens 12 Wochen und kann je nach Projekt variieren	WiSe / SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Deutsch/Englisch / German/English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Studiendekan*in des Fachbereichs Maschinenbau		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>		<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
		Externe Projektarbeit	Projektarbeit / Project		ca. 180 h
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
<p>Das Praktikum dient dem Erhöhen des Verständnisses von bereits erworbenen Kenntnissen im Rahmen von Vorlesungen aus dem Bachelor- und Masterstudium in einem praktischen Umfeld. Auf diese Weise erlaubt das Praktikum den Studierenden, Einblicke in verschiedene Tätigkeiten in der Arbeitswelt zu erhalten und dient somit als Vorbereitung auf mögliche, spätere Einsatzfelder.</p> <p>Die Projektarbeit zielt auf die Eigenaktivität der Studierenden ab. Die Studierenden führen innerhalb eines Unternehmens, ein ingenieurwissenschaftliches Praxisprojekt mit Bezug zum Maschinenbau durch. Die Auswahl des Projekts obliegt den Studierenden und des Unternehmens, in der das Projekt durchgeführt werden soll.</p> <p>Dauer: Die Projektarbeit im Umfang von 180 h ist im Rahmen einer berufspraktischen, mindestens 12-wöchigen Tätigkeit in Vollzeit zu absolvieren.</p> <p>Ort: Industrieunternehmen / Start-Ups (größer 5 Mitarbeiter) im In- und Ausland, keine öffentlichen Forschungseinrichtungen (z.B. GSI, DLR, Fraunhofer, ESA,...)</p> <p>The internship serves to increase the understanding of knowledge already acquired in lectures from the bachelor's degree programme in a practical environment. In this way, the internship allows students to gain insights into various activities in the working world and thus serves as preparation for possible future fields of work.</p> <p>The project work aims at the individual activity of the students. The students perform a practice project within a company. The project as well as its company is chosen by the students.</p> <p>Duration: The project has a volume of 180 h and has to be done within the scope of a full-time occupation of at least 12 weeks.</p> <p>Place: Industrial companies / start-ups (more than 5 employees) at national and international level, no public institutions (e.g. GSI, DLR, Fraunhofer, ESA,...)</p>					
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
<p>Nach Abschluss des Moduls sind die Studierenden in der Lage,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>die Einsatzmöglichkeiten von Maschinenbau-Ingenieuren und Maschinenbau-Ingenieurinnen im industriellen Umfeld darzustellen.</li> </ul>					



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die technischen, wirtschaftlichen und sozialen Gegebenheiten von Unternehmen und Verwaltungsorganen zu verstehen.</li> <li>• realistische Anschauung praktischer Aufgabenstellungen zu entwickeln.</li> <li>• Unternehmen als Sozialstruktur zu verstehen.</li> <li>• das Verhältnis zwischen Führungskräften und Mitarbeitern einzuschätzen, um so die künftigen Wirkungsmöglichkeiten auch als spätere Führungskraft einschätzen zu können.</li> <li>• sich durch den Erwerb von Methodenkompetenzen, verschiedenen Problemstellungen einer Aufgabe analytisch zu nähern.</li> <li>• ein Projekt zu identifizieren, die Projektidee zum Projekt zu entwickeln, zu präzisieren und zu formulieren.</li> <li>• im Rahmen der Projektentwicklung Arbeitsschritte eigenverantwortlich zu planen, zu organisieren und durchzuführen.</li> <li>• Lösungsoptionen zu erarbeiten, einzuordnen, zu interpretieren und zu erläutern.</li> <li>• Lösungen im Rahmen von interdisziplinären Teams zu erarbeiten</li> <li>• eine kriteriengeleitete Entscheidungen herbeizuführen.</li> <li>• Dokumentationen zu verfassen.</li> <li>• die Ergebnisse einem Auditorium zu präsentieren und darüber zu diskutieren.</li> <li>• erworbenes Wissen über die Arbeitswelt in den curricularen Kontext einzuordnen.</li> </ul> <p>After having completed the module, the students are able to</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• explain the possible applications of mechanical engineers in an industrial environment.</li> <li>• understand the technical, economic and social circumstances of companies and public authorities.</li> <li>• develop realistic views with regards to practice tasks.</li> <li>• understand companies as a social structure.</li> <li>• evaluate the relationship between executives and employees in order to assess the future impact as a potential executive.</li> <li>• look at and approach the problems of the task in an analytical way by means of methodological competences.</li> <li>• identify a project, develop the initial idea of the project, specify and formulate it.</li> <li>• schedule different steps on one's own responsibility, organize them and put them into practice within the scope of the project development.</li> <li>• develop, rank, interpret and explain solution options.</li> <li>• develop solutions within the framework of interdisciplinary teams</li> <li>• promote a decision based on a number of criteria.</li> <li>• provide documentation.</li> <li>• present the results to an audience and discuss them.</li> <li>• integrate the acquired knowledge of the working world into the curricular context.</li> </ul>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorliegender Bachelorabschluss bzw. als vorgezogene Masterleistung nach § 20 (4) APB. Um attraktive Praktikumsplätze erhalten und im Vorfeld ausreichende Methodenkompetenz aufbauen zu können, wird empfohlen das Praktikum erst nach erfolgreicher Durchführung der Bachelor-Thesis anzutreten.</li> <li>• Completed Bachelor's degree or as early achievement for the Master's degree according to § 20 (4) APB. In order to obtain attractive internship positions and to be able to build up sufficient methodological competence in advance, it is recommended to start the internship only after successful completion of the Bachelor thesis.</li> </ul>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b></p> <p>Modulabschlussprüfung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualifiziertes Praktikumszeugnis / Qualified internship certificate.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bescheinigung des Unternehmens (Beschäftigungsnachweis) mit Nennung des Projekts / Certification of the company (certificate of employment) incl. the name of the project.</li> <li>• Eine Selbstreflexion in digitaler Form soll am Ende des Praktikums erstellt werden. Diese kann ein Video, Potcast, Präsentation mit Tonspur oder ein rein schriftliches Essay sein. / A self-reflection in digital form should be created at the end of the internship. This can be a video, potcast, presentation with soundtrack or a purely written essay</li> <li>• Die Teilnahme an dem "We Engineer Future Day" wird empfohlen. Informationen erhalten Sie auf der Homepage des Fachbereichs/Mechcenter / The participation in the "We Engineer Future Day" is encouraged. Further information is available on the homepage of the department/Mechcenter</li> </ul>
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Modulabschlussprüfung: Studienleistung (100%), Bewertung: bnb (Bestanden/nicht bestanden) study achievements (100%); bnb (Pass-fail)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> Master MB (Ersatz eines ADPs) Master AE (Ersatz eines ADPs)
9	<b>Literatur / Literature</b>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Tutorium (Generalbeschreibung)					
<b>Tutorial (General Description)</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-	4 CP	120 h	75 h	1 Semester	WiSe und/oder SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Deutsch / Englisch / German / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7.			Studiendekan*in Fachbereich Maschinenbau (Generalbeschreibung) Für einzelne Tutorien: Jeder hauptamtliche Professor oder jede hauptamtliche Professorin des Fachbereichs Maschinenbau		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-tt	Tutorium		Laborpraktikum / Laboratory practicum	45 h (4 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	Aktuelle Aufgabenstellungen aus dem Fokus der anbietenden Fachgebiete. Current research topic from the general area of the administering institute.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<b>A) Schwerpunkt: Experimente</b>				
	Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die wichtigsten Mess- und Analysemethoden des Faches zu erklären.</li> <li>2. Geeignete Messaufnehmer auszuwählen und zu kalibrieren.</li> <li>3. Die Messgeräte, bzw. elektronische Messdatenerfassungsanlagen zu bedienen und deren Messfehler abzuschätzen.</li> <li>4. Versuchseinrichtungen unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften aufzubauen und Versuche durchzuführen.</li> <li>5. Die aufgenommenen Messdaten auszuwerten und einen technischen Versuchsbericht zu erstellen.</li> <li>6. Die Ergebnisse der Versuche in geeigneter Form zu präsentieren und kritisch zu würdigen.</li> </ol>				
	<b>B) Schwerpunkt: Modellierung und Simulation</b>				
	Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Typische technische Vorgänge eines Faches in Modelle abzubilden.</li> <li>2. Geeignete Programme für die Simulation der Vorgänge auszuwählen oder zu erstellen.</li> <li>3. Die Signifikanz von Einflussgrößen zu beurteilen.</li> <li>4. Die Berechnungsergebnisse zu analysieren und deren Qualität einzuschätzen.</li> <li>5. Die Ergebnisse der Simulation in geeigneter Form darzustellen und kritisch zu würdigen.</li> </ol>				
	<b>A) Focus: Experiments</b>				
	On successful completion of this module, students should be able to:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explain the fundamental measurement and analysis methods of the specific field</li> <li>2. Select and calibrate sensors and measuring devices.</li> <li>3. Operate the measuring instruments and estimate their measurement uncertainty.</li> <li>4. Set-up tests considering safety instructions and conduct experiments.</li> </ol>				

	<p>5. Evaluate test data and write technical reports. 6. Present the results of the attempts in appropriate form.</p> <p><b>B) Focus: Modelling and simulation</b> On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Model representative technical processes of the specific field.</li> <li>2. Select or compile suitable programmes for the simulation of the processes.</li> <li>3. Assess the significance of influencing variables.</li> <li>4. Analyse and estimate the quality of the calculation results.</li> <li>5. Present the results of the simulation in appropriate form.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Mögliche Voraussetzungen werden vom anbietenden Fachgebiet bei der Aufgabenstellung angegeben. Possible prerequisites will be prescribed by the individual institute supervising the project.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Sonderform: Schriftliche Ausarbeitung und/oder mündliche Prüfung (Ergebnispräsentation) / Special type: Written report and/or oral exam. Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung. Sofern das Tutorium eine Sicherheitseinweisung umfasst, ist die Teilnahme an dieser aus Gründen des Arbeits- und Unfallschutzes verpflichtend. / Passing the examination. If the tutorial includes a safety instruction, participation in it is obligatory for reasons of occupational safety and accident protection.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> Master MB Tutorium Master AE Tutorium Master Mechatronik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b> Abhängig vom Projekt; wird vom Fachgebiet bekannt gegeben. Will depend on topic; available upon announcement.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
<b>Maschinendynamik</b>					
Machine Dynamics					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-98-4094	6 CP	180 h	135 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Deutsch / German			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. T. Melz		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Maschinendynamik	Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)	
	-hü	Maschinendynamik	Hörsaalübung / Lecture Hall Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Mechanische Schwingungssysteme im Maschinenbau. Aufgaben der Höheren Maschinendynamik. Elemente (Parameter) schwingungsfähiger mechanischer Maschinen und Strukturen. Modellbildung und Bewegungsgleichungen von schwingungsfähigen Maschinen und Strukturen mit linearem Übertragungsverhalten. Eingangs-Ausgangsbeziehungen, Signale von Erregungen und Schwingungen im Zeit- und Frequenzbereich. Eigenschwingungen linearer SDOF- und MDOF-Systeme, Eigenwerte und Eigenvektoren, Orthogonalität. Erzwungene Schwingungen linearer SDOF- und MDOF-Systeme infolge unterschiedlicher Erregungen. Einfluss von (multiphysikalischen) Interaktionen (Struktur, Fluid, elektrische und magnetische Felder) auf das Schwingungsverhalten. Schwingungsüberwachung und Diagnose. Maßnahmen zur Schwingungsberuhigung. Schwinger mit verteilten Parametern (Schwingungen von Kontinua) und nichtlineare Schwingungen. Anwendungsbeispiele der Maschinendynamik in verschiedenen Bereichen des Maschinenbaus</p> <p>Vibration Systems in Mechanical Engineering. Problems of Advanced Machine Dynamics. Elements (parameter) of mechanical vibration systems in machines and structures. Modelling and equations of motion of linear vibration systems for machines and structures. Input-output relations, excitation and vibration response signals in the time and frequency domain. Natural vibrations of linear SDOF- and MDOF systems, eigenvalues and eigenvectors, orthogonality. Forced vibrations of linear SDOF- and MDOF systems due to different excitations. Influence of (multiphysical) interactions (structure, fluid, electric and magnetic fields) on the vibration behavior. Vibration monitoring and diagnosis. Measures for vibration control. Vibration systems with distributed parameters (continua) and nonlinear vibrations. Applications of Machine Dynamics in different areas of Mechanical Engineering.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:				

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grundlegende Probleme der Maschinen- und Strukturmechanik zu bearbeiten und Lösungen zu finden.</li> <li>2. Reale Systeme von schwingungsfähigen Maschinen und Strukturen zu modellieren und die Bewegungsgleichungen nach den Gesetzen der Mechanik zu formulieren.</li> <li>3. Die dynamischen Eigenschaften (Eigenfrequenzen, Dämpfungsverhalten, Schwingungsformen) von Maschinen und Strukturen zu ermitteln und zu analysieren.</li> <li>4. Erzwungene Schwingungen (Systemantworten) von Maschinen und Strukturen infolge von unterschiedlichen Anregungen zu berechnen und die Lösungen zu interpretieren.</li> <li>5. Experimentelle Untersuchungen von Schwingungssystemen (Frequenzgänge, Systemidentifikation, Modale Analyse) grundlegend zu verstehen, zu planen und zu bewerten.</li> <li>6. Vorschläge für die Schwingungsüberwachung und Diagnose an Maschinen zu erarbeiten.</li> <li>7. Maßnahmen zur Schwingungsberuhigung vorzuschlagen und anzuwenden.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Work on basic problems in machine and structural dynamics and to find practical solutions.</li> <li>2. Model real mechanical vibration systems (machines and structures) and to derive the equations of motion based on the principles of mechanics.</li> <li>3. Determine and to analyse the dynamic characteristics (natural frequencies, damping behavior, vibration modes) of machines and structures.</li> <li>4. Calculate forced vibrations (system responses) of machines and structures due to different types of excitations and to interpret the solutions.</li> <li>5. Fundamentally recognize, to plan and to evaluate experimental investigations of vibration systems (frequency response, system identification, modal analysis).</li> <li>6. Plan vibration monitoring and diagnosis for machines.</li> <li>7. Suggest and to apply measures for vibration control.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Technische Mechanik I bis III (Statik, Elastomechanik, Dynamik) und Mathematik I bis III empfohlen.  Technical Mechanics I to III (Statics, Elastomechanics, Dynamics) and Mathematics I to III recommended.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Abschlussklausur 150 min / Written exam 150 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  Master MB Ia Grundlagen  Master MB SP FAS WPB Ia Pflicht  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)  WI/MB, Master Mechatronik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Markert, R.: „Strukturmechanik“, Shaker, 2013.  Dresig, H.; Holzweißig, F.: „Maschinendynamik“, 10. Auflage, Springer, 2011.  Gasch, R.; Nordmann, R.: „Rotordynamik“, 2. Auflage, Springer, 2005.  Dresig, H.: „Schwingungen mechanischer Antriebssysteme“, Springer 2001.  Fischer, U.; Stephan, W.: „Mechanische Schwingungen“, 3. Auflage, Fachbuchverlag Leipzig, 1993.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Sustainable Systems Design					
<b>Sustainable Systems Design</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-98-4074	6 CP	180 h	135 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. P. F. Pelz		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Sustainable Systems Design		Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)
	-ue	Sustainable Systems Design		Übung / Recitation	11 h (1 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Konzept der Nachhaltigkeit; Umgang mit begrenzten Ressourcen; Bewertungsmetriken für den technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Aufwand eines Systems; Lebenszyklus-Kosten Ermittlung; Akzeptanz und Verfügbarkeit technischer Systeme; Systemgrenzen und Schnittstellen; Systemanalogien; Formulierung von Funktionszusammenhängen; Formulierung von Zielen; Festlegung eines Spielfeldes; Modellierung von Komponenten und komplexen Systemen; Systembeschreibung mittels OD-Methoden; Erhaltungssätze; Materialgesetze; zeitliche und räumliche Granularität; Modellreduktion; Modellvalidierung; Planung numerischer und praktischer Versuche; Ermittlung von Herstellkosten (Investitions- und Betriebskosten); Technisch-ökologisch-ökonomisch-soziale Zusammenhänge; Diskrete und kontinuierliche Optimierungsmethoden</p> <p>Concept of sustainability; handling of limited resources; evaluation metrics for technical, economic, ecological and social effort of a system; lifecycle cost analysis; acceptance and availability of technical systems; system boundaries and interfaces; system analogies; formulation of functional dependencies; formulation of targets; specification of a playing field; modeling of components and complex systems; system description by means of OD-methods; conservation laws; material laws; temporal and spatial granularity; model reduction; model validation; design of numerical and practical experiments; determination of manufacturing costs (investment and operational costs); technical-ecological-economical-social dependencies; discrete and continuous optimization methods</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Systemfunktionen und -ziele zu erkennen und zu formulieren, aus den Systemfunktionen notwendige Teilfunktionen abzuleiten, ein Spielfeld von Möglichkeiten zu deren Erfüllung aufzuspannen und Entscheidungen für die geeignetsten Möglichkeiten zu treffen.</li> <li>2. Technische Systeme zu abstrahieren und zu modellieren, den erforderlichen Detaillierungsgrad einer Modellierung einzuschätzen, Modelle zu validieren und ggf. zu vereinfachen.</li> <li>3. Die Nachhaltigkeit technischer Systeme mit geeigneten Metriken zu bewerten sowie Methoden zur Gestaltung nachhaltiger Produkte und Systeme anzuwenden.</li> <li>4. Die technisch-ökologisch-ökonomisch-sozialen Zusammenhänge zwischen Aufwand, Verfügbarkeit und Akzeptanz technischer Systeme zu erkennen, zu bewerten und die Systeme im möglichen Rahmen zu gestalten.</li> </ol>				

	<p>5. Entscheidungs- und Syntheseprobleme in Form von mathematischen Optimierungsmodellen zu formulieren, geeignete Optimierungsmethoden auszuwählen und Optimierungsstrategien hinsichtlich des bestenfalls erreichbaren Optimierungsergebnisses kritisch zu hinterfragen.</p> <p>6. Grundlegende mathematische Methoden zur Lösung von Optimierungsmodellen anzuwenden und die Einsetzbarkeit zur Lösung bestimmter Klassen von Optimierungsmodellen zu beurteilen.</p> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identify and formulate system functions and purposes, derive necessary subfunctions from the system functions, span a playing field of possible solutions, and be able to take decisions on the most suitable solutions.</li> <li>2. Abstract and model technical systems, estimate the necessary level of detail of a model and validate and if appropriate, simplify a model.</li> <li>3. Evaluate the sustainability of technical systems with appropriate metrics and to apply methods for designing sustainable products and systems.</li> <li>4. Identify and evaluate the technical-ecological-economical-social connections between effort, availability and acceptance of technical systems and design the system within the possible framework.</li> <li>5. Formulate decision- and synthesis problems in the framework of mathematical optimization models, choose appropriate optimization methods, and critically scrutinize optimization strategies concerning their maximum attainable optimization results.</li> <li>6. Apply basic mathematical methods in order to determine the solution of optimization models and judge the applicability of certain optimization models.</li> </ol>
4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>
5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur 90 min / Written exam 90 min
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> Master MB Ia Grundlagen Master MB SP SUR WPB Ia Pflicht WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik) Master Mechatronik Master Wirtschaftsingenieurwesen – technische Fachrichtung Maschinenbau
9	<b>Literatur / Literature</b> Lernmaterial auf <a href="http://www.moodle.tu-darmstadt.de">www.moodle.tu-darmstadt.de</a> Empfohlene Bücher: Pahl, Beitz: Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Springer Verlag Suhl, Mellouli: Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen, Springer Verlag Study material available at <a href="http://www.moodle.tu-darmstadt.de">www.moodle.tu-darmstadt.de</a> Recommended books: Pahl, Beitz: Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, Springer Verlag Suhl, Mellouli: Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen, Springer Verlag



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Transportphänomene					
<b>Transport Phenomena</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-98-4054	6 CP	180 h	135 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr. rer. nat. S. Hardt		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Transport Phenomena	Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)	
	-ue	Transport Phenomena	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Die Vorlesung hat zum Ziel, eine vereinheitlichte Beschreibung von kontinuumsmechanischen Transportphänomenen zu vermitteln, speziell von Impuls-, Wärme- und Stofftransport. Dabei werden im Schwerpunkt Fluide betrachtet. Die entsprechenden Bilanzgleichungen hergeleitet und deren Anwendungsgrenzen diskutiert. Durch Entdimensionierung der Gleichungen wird die Bedeutung unterschiedlicher physikalischer Effekte auf unterschiedlichen Skalen hervorgehoben. Eine Verbindung der Transportphänomene mit Prozessen auf molekularer Ebene wird hergestellt. Im Fokus der Vorlesung stehen insbesondere der Wärmetransport in Grenzschichten, reagierende Strömungen, Mehrphasenströmungen (Suspensionen, Dispersionen), nicht-Newtonsche Fluide und Transportprozesse bei kleinen Reynolds-Zahlen.</p> <p>The objective of the lecture is to convey a unified description of transport phenomena in continuum mechanics, especially of momentum, heat, and mass transport. The focus is mostly on fluids. The corresponding conservation equations are derived, and their limits of applicability are discussed. The importance of different physical effects on different scales is underlined by writing the equations in a non-dimensional form. A connection between transport phenomena and processes on a molecular scale is established. Especially heat transport in boundary layers, reacting flows, multi-phase flows (suspensions, dispersions), non-Newtonian fluids, and transport processes at low Reynolds numbers are the focus of the lecture.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Unterschiedliche Transportphänomene (Impuls, innere Energie, Stoff, Entropie) zu analysieren und die adäquaten Bilanzgleichungen anzuwenden.</li> <li>2. Transportkoeffizienten auf molekulare Erscheinungen zurückzuführen.</li> <li>3. Für Transportprozesse unterschiedliche Skalen zu wählen und zu beurteilen.</li> <li>4. Grenzen der Anwendbarkeit der unterschiedlichen Ansätze zu erkennen.</li> <li>5. Die Besonderheit der Transportprozesse in Grenzschichten zu erklären, zu analysieren und zu bewerten.</li> <li>6. Das Wechselspiel zwischen Transportprozessen und chemischen Reaktionen (Reaktionskinetik) zu erklären.</li> <li>7. Bilanzgleichungen für Mehrphasenströmungen aufzustellen und zu interpretieren.</li> </ol>				

	<p>8. Unterschiedliche rheologische Modelle phänomenologisch zu beschreiben und das Phänomen der Relaxationsdynamik zu erklären.</p> <p>9. Besonderheiten von Strömungen bei kleinen Reynoldszahlen zu erkennen.</p> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analyze different transport phenomena (momentum, internal energy, mass, entropy) and apply adequate conservation equations.</li> <li>2. Relate transport coefficients to processes occurring on a molecular scale.</li> <li>3. Select and assess different scales for transport processes.</li> <li>4. Identify the limits of validity of different descriptions.</li> <li>5. Explain, analyze, and assess the unique features of transport processes in boundary layers.</li> <li>6. Explain the interplay between transport processes and chemical reactions (reaction kinetics).</li> <li>7. Formulate and interpret conservation equations for multi-phase flow.</li> <li>8. Describe phenomenologically different rheological models and explain the phenomenon of relaxation dynamics.</li> <li>9. Identify unique features of flow at low Reynolds numbers.</li> </ol>
4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>
5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur 120 min / Written exam 120 min.
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> Master MB Ia Grundlagen Master MB SP CEPE WPB Ia Pflicht Master PST Pflicht
9	<b>Literatur / Literature</b> R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, <i>Transport Phenomena</i> (rev. 2 <sup>nd</sup> Ed.), John Wiley & Sons, New York, 2007

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
<b>Digitalisierung in der Produktion</b>					
Digitisation in Production					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-98-4044	6 CP	180 h	135 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Deutsch / German			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. M. Weigold und Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. B. Schleich		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Digitalisierung in der Produktion	Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)	
	-ue	Digitalisierung in der Produktion	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Die Vorlesung soll Studierenden des Masterstudiums vermitteln, wie sich Prozesse in der Produktion durch fortschreitende Digitalisierung wandeln. Im Rahmen der Vorlesung sollen gezeigt werden wie Agilität und Flexibilität für eine Individualfertigung gelingen kann. Basis ist zum einen die Vernetzung der Produktionsprozesse. Es wird aufgezeigt wie moderne Informations- und Kommunikations-Infrastrukturen aussehen und welche Modelle für eine standardisierte Vernetzung vorhanden sind. Zum zweiten wird die Bedeutung der Erfassung, Handhabung und Nutzung von Daten als entscheidendes Gut in der Produktion von morgen dargestellt. Abschließend gibt die Vorlesung einen Blick über moderne Steuerungsmechanismen bis hin zur Fragestellung von autonomen Abläufen in der Produktion.</p> <p>This lecture is intended to teach students of the master program how processes in production are changing due to progressive digitization. The lecture will show how agility and flexibility for individualized production can be achieved. The basis is on the one hand the networking of production processes. It will be shown how modern information and communication infrastructures look like and which models for a standardized networking are available. On the other hand, the importance of data acquisition, handling and usage as a decisive asset in tomorrow's production is presented. Finally, the lecture gives a view on modern control mechanisms up to the question of autonomous processes in production.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die vernetzten, datengetriebenen Produktionsprozesse der Zukunft zu beschreiben.</li> <li>2. Den Nutzen von vernetzten, datengetriebenen Produktionsprozesse zu erkennen.</li> <li>3. Moderne Informations- und Kommunikations-Infrastrukturen zu erklären.</li> <li>4. Ein durchgängiges Daten- und Kommunikationsmanagement in der Produktion zu beschreiben.</li> <li>5. Die Rolle Digitaler Zwillinge für Produkte und Produktionsmaschinen darzulegen.</li> <li>6. Den Datenfluss von der Erfassung bis zur Analyse durchgängig zu beschreiben.</li> <li>7. Die Herausforderungen der Datenverarbeitung und -bewertung aufzuzeigen</li> <li>8. Die Möglichkeiten moderner Produktionsteuerung und Produktionsadaption zu beschreiben, zu charakterisieren und zu klassifizieren</li> </ol> <p>After the students have successfully completed the course unit, they should be able to</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe the networked, data-driven production processes of the future</li> </ol>				

	<p>2. Recognize the benefits of networked, data-driven production processes.</p> <p>3. Explain modern information and communication infrastructures</p> <p>4. Describe an integrated data and communication management in production</p> <p>5. Explain the role of digital twins for products and production machines</p> <p>6. Describe the data flow from acquisition to analysis in a consistent manner</p> <p>7. Identify the challenges of data processing and evaluation</p> <p>8. Describe, characterize, and classify the possibilities of modern production control and production adaptation</p>
4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme -/ Prerequisites for participation</b>
5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur 120 Minuten / Written exam 120 min.
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> Master MB Ib Digitalisierung Master MB SP DbPR Ib Pflicht WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)
9	<b>Literatur / Literature</b> Hinweise zu Beginn der Vorlesung. / References at the beginning of the lecture.

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Machine Learning Anwendungen					
<b>Machine Learning Applications</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-98-4174	6 CP	180 h	142 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. U. Klingauf		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Machine Learning Applications		Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)
	-pr	Machine Learning Applications Practical Part		Gruppenarbeit / Group Work	4 h (0,3 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Theorie: Anwendungsorientierte Grundlagen des Machine Learning und verknüpfter Bereiche der Statistik (deskriptiv, explorativ, induktiv), Advanced Analytics, Data Mining, Data Science und Big Data; Grundlagen von Machine Learning Verfahren, Funktionsweisen und Algorithmen; Entwicklungsprozesse; Grundlegende Data Science Prinzipien und Techniken: Erörterung von betriebswirtschaftlichen Szenarien; Sammlung, Sichtung und Qualitätsbewertung von Daten; Datenvorbereitung, Feature Engineering; Anwendung von Verfahren und Entwicklungsumgebungen anhand Beispiele in Matlab und Python; Aufzeigen und Bewerten von Lösungsmöglichkeiten; Modellauswahl, Optimierung, Performanzbewertung; wesentliche Ideen zur Modellintegration in Entscheidungsprozesse, Handlungsempfehlungen, System of Systems; Beispiele aus der aktuellen Forschung, bspw. Predictive Maintenance in der Luftfahrt und in der Produktion;</p> <p>Praktische Gruppenarbeit: Anwendung von Grundzügen einer Softwareentwicklungsmethodik (bspw. Scrum); Umsetzung der Theoriekenntnisse in einer kooperativen Entwicklungsaufgabe; praxisnahe Lösungsentwicklung einer Herausforderung der Industrie durch Programmierung und Datenauswertung (Implementierung); Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse;</p> <p>Theory: Application-oriented basics of machine learning and related areas statistics (descriptive, explorative, inductive), advanced analytics, data mining, data science and big data; basics of machine learning methods, functions and algorithms; development processes; basics of data science principles and techniques: discussion of business scenarios; collection, review and quality evaluation of data; data preparation, feature engineering; application of methods and use of program systems on the basis of examples; identification and evaluation of possible solutions; model selection, optimization, performance-assessment; essential ideas of model integration in decision-making processes, recommendations for actions, system of systems; examples from current research, e.g. predictive maintenance in aviation and production;</p> <p>Practical group work: Application of basic features of a software development methodology (e.g. scrum); application of theoretical knowledge on a cooperative development task; practical solution development of an industrial challenge through programming and data evaluation (implementation); documentation and presentation of the results;</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem Studierende die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grundlegende Entwicklungen und Einsatzmöglichkeiten künstlicher Intelligenz (Machine Learning) auf ingenieurtechnische Anwendungen (bspw. Maschinenbau) zu beurteilen</li> </ol>				

	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Wesentliche Konzepte und (mathematische) Methoden im Machine Learning zu differenzieren und zu erklären</li> <li>3. Ausgewählte Algorithmen und Modelle (z. B. aus dem Bereich Diagnose/Prognose) hinsichtlich Ihrer Performanz, Robustheit und Qualität ingenieurstwissenschaftlich zu evaluieren</li> <li>4. Erlernte Fertigkeiten in den Bereichen Datenakquisition und -verarbeitung, datenbasierte Modellbildung (Diagnosen und Prognosen) sowie Präsription anzuwenden</li> <li>5. Einfache und mittlere Analyseaufgaben mithilfe von Prozessmodellen (CRISP/OSA-CBM) selbstständig zu strukturieren, anhand von Daten umzusetzen und wirtschaftlich abzuschätzen</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assess and evaluate basic developments and possible uses of artificial intelligence (machine learning) in engineering applications (e. g. mechanical engineering)</li> <li>2. Differentiate and explain key concepts and (mathematical) methods of machine learning</li> <li>3. Evaluate selected algorithms and models (e.g. from the diagnostic/prognostic domain) with regard to their performance, robustness and quality from an engineering point of view</li> <li>4. Apply learned competencies in the areas of data acquisition and processing, data-based modelling (diagnosis and prognosis) and prescription</li> <li>5. Structure simple and medium analytical tasks independently by means of standardized processes (CRISP/OSA-CBM), realize them with given data and estimate their economic impact (business value)</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>          Programmierkenntnisse in Matlab und/oder Python werden vorausgesetzt          Programming knowledge in Matlab and/or Python is required</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>          50 % Klausur (60 min) und          50 % Practical Part/Sonderform: Schriftliche Ausarbeitung, Programmcode und mündliche Prüfung (Ergebnispräsentation, 15 min) einer kooperativen Entwicklungsaufgabe ("Data Quest") /          50 % written exam (60 min.) and          Special form: 50 % documentation, program code and oral exam (presentation of results, 15 min) of a cooperative development task („Data Quest“)</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving credits</b>          Bestehen beider Prüfungsleistungen / Passing both examinations</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>          Beides Fachprüfungen (je 50%); Standard (Ziffernote) / Technical Examinations (both 50%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>          Master MB Ib Digitalisierung          WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>          Vorlesungsmaterialien werden semesterbegleitend auf Moodle zur Verfügung gestellt.          Ertel: Grundkurs künstliche Intelligenz, Springer          Mitchell: Machine Learning, McGraw Hill          Hastie: The Elements of Statistical Learning, Springer          Witten: Data Mining, Elsevier</p>
	<p>Die Lehrveranstaltung findet unter Beteiligungen von Prof. Dr.-Ing. J. Metternich, Prof. Dr.-Ing. M. Weigold und Prof. Dr. K. Kersting (FB Informatik) statt.          The Lecture takes place with participation from Prof. Dr.-Ing. J. Metternich, Prof. Dr.-Ing. M. Weigold and Prof. Dr. K. Kersting ( Department of Computer Science).</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Intelligente Produkte, Entwicklung und Dienste					
<b>Smart Products, Engineering &amp; Services</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-98-4084	6 CP	180 h	125 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch/ English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Coordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. E. Kirchner und Prof. Dr.-Ing. S. Rinderknecht		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Smart Products, Engineering & Services	Vorlesung / Lecture	15 h (1 SWS)	
	-ue	Smart Products, Engineering & Services	Übung / Recitation	10 h (1 SWS)	
	-pj	Smart Products, Engineering & Services	Projekt / Project	30 h (2,5 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
<p>Einführung in die künstliche Intelligenz (KI), Big Data, Cyber-Physische Systeme und intelligente Mechatronische Systeme; intelligente Maschinenelemente: Klassifizierung, Integration von Sensorfunktionen, Entwurf, Evaluation und Kalibrierung der Sensorik, Anwendungsgrenzen; Ideenfindung und Marktanalyse; prototypische Fertigungsverfahren und Toleranzmanagement für das Entwerfen von Versuchsträgern; agiles Projektmanagement und Hardwareentwicklung, versagenserfassungsgestützte Konstruktionsänderung (DRBFM); Geschäftsmodelle und Markteinführung für Produkte und Produkt-Dienst-Systeme; Verifizierungs- und Validierungs- (V&amp;V)-Methoden: in der Betriebsphase durchgeführte Software-Updates und durch maschinelles Lernen hervorgerufene Eigenschaftsänderungen; Prädiktive Instandhaltung: Schadensvorhersagen und Schadensüberwachung; softwarebasierte Leichtbau-Entwicklung.</p> <p>Introduction to artificial intelligence (AI), big data, cyber-physical systems, and smart mechatronic systems; smart machine elements: classification, integration of sensing functions, design, evaluation and calibration of sensing elements, applicability limitations; ideation and market analysis; rapid manufacturing and tolerance management for designing test components; agile project management and hardware development, Design Review Based on Failure Mode (DRBFM); business models and market introduction of products and Product-Service-Systems; Verification and Validation (V&amp;V)-methods: remote software updates and AI-based attribute changes during operation phase; predictive maintenance: damage prediction and monitoring; software-based lightweight development.</p>					
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grundlagen künstlicher Intelligenz, Big Data und Cyber-Physischer Systeme zu erklären und intelligente Systeme zu beschreiben, deren Implikationen für die Systementwicklung als Software anzuwenden und selbstlernende nutzerorientierte Systeme zu benennen.</li> <li>2. Anforderungen an die Sensorik intelligenter Produkte zu analysieren, Entwürfe zu synthetisieren und zu bewerten sowie Eigenschaften intelligenter Maschinenelemente zu klassifizieren und die Vorgehensweise bei der Integration des Sensors und bei der Kalibrierung zu erklären.</li> <li>3. Grundlagen des Innovationsmanagements, Methoden der Ideengenerierung und -quellen zu benennen, Nutzerbedürfnisse zu identifizieren und Marktsegmente auszuwählen sowie zu analysieren</li> <li>4. Am Beispiel des sensorisch nutzbaren Wälzlagers die Grenzen der Sensorkonzepte zu erkennen und die Anwendungsgrenzen abzuschätzen.</li> </ol>					

	<p>5. Grundlagen der schnellen Erzeugung von Versuchsträgern zu beschreiben und anzuwenden, typische Funktionalitätseinschränkungen zu benennen sowie Toleranzmanagement einzusetzen.</p> <p>6. Agiles Projektmanagement/ Hardwareentwicklung und die Methode DRBFM anzuwenden.</p> <p>7. Grundlagen der Innovationsadoption und -diffusion zu erklären; Business Model Frameworks, Business Model Innovation und Innovation von Produkt-Dienste-Systemen zu beherrschen.</p> <p>8. V&amp;V-Methoden zu erklären und die Auswirkungen von ferngesteuerten Software-Updates und durch maschinelles Lernen hervorgerufene Eigenschaftsänderungen in der Betriebsphase zu interpretieren. Nutzerfeedback berücksichtigen und Sicherheitsaspekte beurteilen.</p> <p>9. Das Konzept der Prädiktiven Instandhaltung zu erklären, Schadensvorhersagen und Schadensüberwachung voneinander abzugrenzen sowie die zugehörigen Methoden anzuwenden.</p> <p>10. Softwarebasierte Leichtbau-Entwicklung zu beherrschen (ecoLIFE3 Methode).</p> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Understand the basics of AI, Big Data and Cyber-Physical Systems, describe self-learning user-oriented system and Smart Mechatronic Systems and understand their implications for the development phase; and being able to apply the basics in a developmental software environment.</li> <li>2. Analyze the requirements of smart sensing elements of a smart product followed by the design and evaluation of a product concept. Classify smart machine elements and explain the procedures of sensor integration and sensor calibration.</li> <li>3. Explain the basics of innovation management, know methods for idea generation and idea sources, identify customer needs, select and analyze market segments.</li> <li>4. Identify the limits of sensor concepts and assess the limits of their applicability.</li> <li>5. Understand and apply rapid manufacturing technologies for the fast production of test components, know typical disturbances and perform tolerance management.</li> <li>6. Perform agile management (Scrum), agile hardware engineering and understand DRBFM.</li> <li>7. Explain the basics of adoption and diffusion of innovation, and master Business Model Frameworks, Business Model Innovation, and innovation of Product-Service-Systems.</li> <li>8. Explain V&amp;V methods and understand the implications of remote software updates and machine learning based attribute changes during operation phase incl. user feedback and Safety issues.</li> <li>9. Explain the concept of predictive maintenance, differentiate between damage prediction and damage monitoring during the operation phase and know the associated methods.</li> <li>10. Perform software-based lightweight design (method ecoLIFE3).</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>          Programmierkenntnisse Matlab / Python vorteilhaft / Programming skills Matlab / Python beneficial.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>          Klausur mit Aufgabenteilen der drei beteiligten Institute (60 min, 60 %) und Präsentation der Ergebnisse am Prototypen mit Funktionsnachweis und anschließender Diskussion (40 %)          Written exam (60 min., 60 %) and Presentation of the prototype with proof of function and discussion (40 %)</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>          Bestehen der Prüfungsleistungen / Passing the examinations</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>          Fachprüfungen (60% Klausur, 40% Präsentation der Ergebnisse am Prototypen mit Funktionsnachweis und anschließender Diskussion; Standard (Ziffernote)) / Technical Examinations (written exam 60%, Presentation of the prototype with proof of function and discussion 40%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>          Master MB Ib Digitalisierung          WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>          Vorlesungs- und Übungsmaterialien via moodle. / Lecture and recitation material via moodle.</p>



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Fortgeschrittene Strömungsmechanik I					
<b>Advanced Fluid Mechanics I</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-64-5110	6 CP	180 h	135 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DGR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. M. Oberlack		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Advanced Fluid Mechanics I	Vorlesung / lecture	34 h (3 SWS)	
	-ue	Advanced Fluid Mechanics I	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Grundgleichungen der inkompressiblen Strömungen (differenziell, integral, singuläre Phasengrenzfläche); Wirbeltransportgleichung; Schleichende Strömungen; Gleitlagertheorie; Einführung in die Grenzschichttheorie und singuläre Methoden; Laminare wandgebundene Grenzschichten; Freie Grenzschichten; Stabilität (turbulenter Umschlag); Einführung in die Turbulenz; Turbulente Grenzschichttheorie; Temperaturgrenzschichten; Mehrphasenströmungen.</p> <p>Basic equations of incompressible fluid flows (differential, integral, singular phase interface); Vortex transport equation; Creeping flows; Floating bearing theory; Introduction to boundary layer theory and perturbation methods; Laminar wall bounded flows; Free boundary layer flows; Stability and turbulent transition; Introduction to turbulence; Turbulent boundary layer theory; Temperature boundary layers; Multiphase flows.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Bilanzgleichungen für inkompressible Strömungen zu erklären.</li> <li>2. Die Grundgleichungen für verschiedene Strömungsprobleme, wie z.B. schleichende Strömungen, Grenzschichtströmungen zu vereinfachen und anzuwenden.</li> <li>3. Die Prandtlischen Grenzschichtgleichungen mittels der Navier-Stokes Gleichungen und der Störungsrechnung herzuleiten.</li> <li>4. Die Lösungswege bei generischen Grenzschichtströmungen ausgehend von den Navier-Stokes Gleichungen zu erklären und die entsprechenden physikalischen Phänomene zu interpretieren.</li> <li>5. Die Herleitung der Gleichungen für turbulente Strömungen zu erklären und für einfache Grenzschichtprobleme anzuwenden.</li> <li>6. Die turbulenten Schließbedingungen und die Wandgesetze turbulenter Strömungen zu erklären</li> <li>7. Probleme mehrphasiger Strömungen durch Bilanzgleichungen und Sprungbedingungen zu untersuchen.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explain the balance equations of incompressible flows</li> <li>2. Simplify and employ the fundamental equations for various flow problems, e.g. creeping flows, boundary layer flows</li> </ol>				

	<p>3. Deduce the Prandtl boundary layer equations by means of the Navier Stokes equations and the perturbation methods</p> <p>4. Explain the approach to solve generic boundary layer flows based of the Navier Stokes equations and interpret the corresponded physical phenomena</p> <p>5. Explain the deduction of the equations for turbulent flows and apply them on simple boundary layer problems</p> <p>6. Explain the turbulent closure conditions and the near-wall scaling laws of turbulent flows</p> <p>7. Investigate problems of multiphase flows by means balance equations and jump conditions</p>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme -/ Prerequisites for participation</b>  Grundkenntnisse der Strömungsmechanik; Gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen  Basic knowledge of fluid mechanics; Ordinary and partial differential equations</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche Prüfung 30 min / Oral exam 30 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Kreditpunkten / Requirement for receiving credits</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Spurk: Strömungslehre (Springer); Schlichting und Gersten: Grenzschichttheorie, Verlag G. Braun, Karlsruhe 1980; Pope: Turbulent Flows, Cambridge University Press 2000.  Vorlesungsskript / Lecture Notes in moodle</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Sichere Avioniksysteme  <b>Avionics System Safety</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-23-5110	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 97 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. U. Klingauf		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Avionics System Safety	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Operationelle Anforderungen an Flugführungssysteme, Aufbau von Flugführungssystemen, Architekturen und Auslegungsmethoden für zuverlässige Systeme, Pilotenassistenzsysteme im Cockpit, Human Factors.  Operational requirements for flight guidance systems, structure of flight guidance systems, architectures and design methods for reliable systems, pilot assistance systems in the cockpit, human factors.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Grundlagen der automatisierten Flugdurchführung und der Mensch-Maschine Schnittstellen in modernen Flugzeugcockpits zu beschreiben.</li> <li>2. Die grundlegenden Aspekte und Methoden bei der Auslegung sicherheitskritischer Systeme in der Flugführung zu erklären.</li> <li>3. Die verschiedenen Systemarchitekturen zu unterscheiden.</li> <li>4. Das komplexe Zusammenspiel von technischen Systemen, operationellen Abläufen und dem Menschen anhand des Beispiels Avioniksysteme zu beschreiben und zu diskutieren.</li> </ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe the basics of automated flight operations and human-machine interfaces in modern aircraft flight decks.</li> <li>2. Explain the basic concepts and methods in the design of safety critical systems in flight control.</li> <li>3. Differentiate between the different system architecture concepts.</li> <li>4. Describe and discuss the complex interplay of technical systems, operational processes and humans using the example of avionics systems.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Empfohlen: Flugmechanik I: Flugleistungen, Grundlagen der Navigation I, Systemische Betrachtung des Luftverkehrs  Recommended: Flight Mechanics I: Performance, Fundamentals of Navigation I, Systemic Evaluation of Air Transportation				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur 60 min oder mündliche Prüfung 20 min / Written exam 60 min or oral exam 20 min.				

	Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau) Master AE II Kernlehrveranstaltung WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)
9	<b>Literatur / Literature</b> Bahr, N.J.: System Safety Engineering and Risk Assessment: A Practical Approach, 2 <sup>nd</sup> Edition, CRC Press 2015 Dhillon, B.S.: Transportation Systems Reliability and Safety, CRC Press 2011 C.C. Rodrigues, S.K. Cusick: Commercial Aviation Safety, McGraw Hill 2011 R. Isermann: Fault Diagnosis Systems, Springer 2006

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Aerodynamik II					
<b>Aerodynamics II</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-11-5060	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 6 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 180 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 146 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. J. Hussong		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7					
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Aerodynamics II		Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>kompressible Stromfadentheorie, allgemeiner Verdichtungsstoß, Prandtl-Meyer-Expansion, gasdynamische Grundgleichung, kompressible Profiltheorie, kompressible Tragflügeltheorie, kompressible Grenzschichten</p> <p>Compressible flows: stream filament theory, shock waves, Prandtl-Meyer expansions, gas dynamic equations, airfoil theory, lifting-line theory, compressible boundary layers.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die grundsätzlichen Unterschiede der theoretischen Behandlung kompressibler und inkompressibler Strömungen zu benennen.</li> <li>2. Die für die Bildung von Verdichtungsstößen und Expansionsfächer verantwortlichen Vorgänge zu erklären und ihren Einfluss auf aerodynamische Eigenschaften zu erläutern.</li> <li>3. Die Prozeduren zur Kompensation des Kompressibilitätseffektes in inkompressibler Strömungsfelder anzuwenden.</li> <li>4. Die Auswirkungen kompressibler Strömungsphänomene auf die Aerodynamik von Tragflächen und Flugzeugen sowie Methoden zur Verwertung oder zur Vermeidung dieser Phänomene zu erklären.</li> <li>5. Die Auswirkung von Kompressibilitätseffekten auf Grenzschichtströmungen zu beschreiben.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe the fundamental differences of the theoretical treatment of compressible flows as compared to incompressible flows.</li> <li>2. Explain the processes responsible for the occurrence of shocks and expansion waves and their influence on the aerodynamic characteristic.</li> <li>3. Apply the procedures for compensating the compressibility effects in incompressible computed flows.</li> <li>4. Explain the effects of compressibility on the aerodynamic features of airfoils and aircraft and methods of utilizing or avoiding such effects.</li> <li>5. Describe the impact of compressibility on boundary layer flows.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>				
	<p>Aerodynamik I empfohlen.</p> <p>Aerodynamics I recommended</p>				

5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche Prüfung (30 min) oder Klausur (60 min) / Oral (30 min) or written exam (60 min)  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Tropea/Grundmann Aerodynamik II (Shaker Verlag), erhältlich im Sekretariat des Fachgebiets Strömungslehre und Aerodynamik  Tropea/Grundmann Aerodynamik II (Shaker Verlag), available at FG office</p>
	<p>Geänderte Modulbeschreibung angenommen mit FBR-Beschluss am 11. Juli 2023.  Changed module description accepted from academic department on 11 July 2023.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Faserverbund-Strukturen					
<b>Composite Structures</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-12-3174	4 CP	120 h	57 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR): 7</b>			Prof. Dr.-Ing. habil. C. Mittelstedt		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Composite Structures	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Composite Structures	Hausübung / Recitation	40h (3,5 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Historische Entwicklung, Nomenklatur, Fasern und Matrixsysteme, Halbzeuge, Verhalten einer Laminat-Einzelschicht, Klassische Laminattheorie, Einfluss von Feuchte und Temperatur, Bruchverhalten und Degradation, Verbindungen (Schlaufenanschlüsse, Stiff förmige Verbindungen, Klebverbindungen), Optimierung von Laminaten, Konstruktionshinweise, Spannungskonzentrationsprobleme, Stabilitätsprobleme, Beispiele aus dem Flugzeugbau, Beispiel: Grobauslegung eines dünnwandigen Faserverbund-Trägers</p> <p>Historical developments, Nomenclature, Fibers and matrices, Semi-finished products, Behaviour of a laminate layer, Classical Laminate Plate Theory, Influence of moisture and temperature, Fracture and degradation, Joints (circumferential joints, bolted joints, bonded joints), Optimization of laminates, Design guidelines, Stress concentration problems, Stability problems, Examples from aircraft engineering, Example: Predesign of a thin-walled composite beam</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Faser- und Matrixarten sowie die zugehörigen Halbzeuge selbstständig anwendungsbezogen auszuwählen.</li> <li>2. Grundlegende statische Berechnungen an dünnwandigen Faserverbundstrukturen durchzuführen.</li> <li>3. Die klassische Laminattheorie auf Probleme ebener Laminat anzuwenden und Festigkeitsanalysen unter Berücksichtigung statischer Einwirkungen sowie Feuchte und Temperatur durchzuführen.</li> <li>4. Die wesentlichen Stabilitäts- und Spannungskonzentrationsprobleme im Rahmen der Faserverbundtechnik zu erfassen und entsprechende Berechnungen durchzuführen.</li> <li>5. Die grundlegenden Konstruktionsprinzipien der Faserverbundtechnik anzuwenden.</li> </ol> <p>Upon successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Select fibers, matrices and semi-finished products according to a specific task.</li> <li>2. Perform basic static analyses of thin-walled composite structures.</li> </ol>				

	<p>3. Apply classical laminated plate theory for basic composite laminate problems and to perform strength assessments under consideration of static loads as well as moisture and temperature loads.</p> <p>4. Understand the most relevant stability and stress concentration problems in the framework of composite structures and to perform according analyses.</p> <p>5. Understand and apply construction principles in composites engineering.</p>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Der Besuch und der erfolgreiche Abschluss der beiden Lehrveranstaltungen „Leichtbau I“ und „Leichtbau II“ wird empfohlen. / Attending and successfully completing the modules „Lightweight Engineering I“ and „Lightweight Engineering II“ is recommended.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche Prüfung 30 min, davon 10 Minuten Präsentation der Ergebnisse der Projektarbeit (1/3) und 20 Minuten mündliche Prüfung (2/3) und Bericht (bnb, Projektarbeit).  Oral exam 30 min., divided into 10 minutes presentation of the results of the design project (1/3) and 20 minutes oral examination (2/3) and report (design project, pnp).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistungen / Passing the examinations.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfungen: Mündliche Prüfung (100%), Standard (Ziffernote) und Bericht (0%), bnb / Technical Examinations: Oral exam((100%); Standard (Number grades), report (design project work, 0%) pnp</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  Master MB II SP SUR  WPB Master PST IV (Kernlehrveranstaltungen der Papiertechnik)  Angewandte Mechanik  Mechatronik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  ALTENBACH, H., ALTENBACH, J. und RIKARDS, R., 1996. Einführung in die Mechanik der Laminat- und Sandwichtragwerke. Stuttgart: Deutscher Verlag der Grundstoffindustrie.  JONES, R.M., 1975. Mechanics of composite materials. Washington, USA: Scripta Book Co.  MITTELSTEDT, C. und BECKER, W., 2016. Strukturmechanik ebener Laminate. Darmstadt: Studienbereich Mechanik, TU Darmstadt.  SCHÜRMAN, H., 2005. Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Berlin et al.: Springer.</p>



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Gasdynamik und Potentialtheorie					
<b>Compressible and Irrotational Flow</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-10-3274	4 CP	120 h	74 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Coordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. P. F. Pelz		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Compressible and Irrotational Flow	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Compressible and Irrotational Flow	Übung / Recitation	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Thermodynamische Zustandsgleichungen; Entropiebilanz; stationäre kompressible Strömung; Lavaldüse; senkrechter Verdichtungsstoß; Rayleigh- und Fannokurve; instationäre kompressible Strömungen; Charakteristikenmethode; Expansions- und Kompressionswellen; Überschallströmung; Machsche Wellen; schräge und abgelöste Verdichtungsstöße; Croccoscher Wirbelsatz; Reflexion schräger Verdichtungsstöße; Prandtl-Meyer-Strömung; Potentialströmung; Elementarlösungen der Laplacesche Gleichung; Bernoullische Gleichung für Potentialströmungen; Singularitätenverfahren, Randelementmethode; Funktionentheorie; komplexes Potential; konforme Abbildung; Hodographenmethode; virtuelle Masse.</p> <p>Thermodynamic equation of state; entropy balance; steady compressible flow; de Laval nozzle; normal shock; Fanno and Rayleigh curve; unsteady compressible flows; method of characteristics; expansion and compression waves; supersonic flow; Mach wave; oblique and detached shocks; Crocco's theorem; reflection of oblique shocks; Prandtl-Meyer flow; potential flow; elementary solutions of Laplace's equation; method of singularities; boundary element method; fundamentals of complex analysis; complex potential; conformal map; hodograph method; added mass.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Strömungen hinsichtlich Kompressibilität zu beurteilen</li> <li>2. Stationäre und instationäre kompressible Innenströmungen zu beschreiben und zu berechnen</li> <li>3. Unter- und Überschallströmung um Auftriebsprofile (Außenströmung) zu beschreiben</li> <li>4. Anwendbarkeit von Potentialströmung zu kennen</li> <li>5. Lösungsverfahren der Laplaceschen Gleichung zu kennen und anzuwenden</li> <li>6. Lösungsverfahren für ebene Potentialströmung zu kennen und anzuwenden</li> <li>7. Virtuelle Massen zu berechnen</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assess flows regarding compressibility</li> <li>2. Describe and calculate steady and transient compressible internal flows</li> <li>3. Describe subsonic and supersonic flow around lifting profiles (external flow)</li> <li>4. Assess applicability of potential flow</li> <li>5. Know and apply solution methods of Laplace's equation</li> <li>6. Know and apply solution methods for plane potential flow</li> </ol>				

	7. Calculate virtual masses
4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme -/ Prerequisites for participation</b> Technische Strömungslehre empfohlen fundamental fluid mechanics recommended
5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur 90 min oder mündliche Prüfung 30 min / Written exam 90 min or oral exam 30 min Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Kreditpunkten / Requirement for receiving credits</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau) Master AE II Kernlehrveranstaltung WPB Master PST II (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)
9	<b>Literatur / Literature</b> Batchelor, George K.: An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, 2000. Becker, Ernst: Gasdynamik, Teubner Verlag, 1966. Becker, Ernst: Technische Thermodynamik: Eine Einführung in die Thermo- und Gasdynamik, Teubner Verlag, 1985. Oswatitsch, Klaus, Gasdynamik, Springer Verlag, 1952 Shapiro, Ascher H.: The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, John Wiley & Sons, 1953. Spurk, Joseph H., Aksel, Nuri: Fluid Mechanics, Springer Verlag, 2020.

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Flugmechanik II: Flugdynamik					
<b>Flight Mechanics II: Dynamics</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-23-5040	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 6 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 180 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 146 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. U. Klingauf		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Flight Mechanics II: Dynamics		Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Statische Stabilität; stationäre Längs- und Seitenbewegung, stationäre Manöver; dynamische Längs- und Seitenbewegung, dynamische Stabilität; 6 Freiheitsgrade Modell  Static stability of flight; static longitudinal and lateral motion; steady maneuvers; dynamic longitudinal and lateral stability; eigenvalues; 6-degrees-of-freedom model				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Das statische und dynamische Verhalten des Flugzeugs zu modellieren, zu analysieren und das Systemverhalten zu charakterisieren.</li> <li>2. Den Einfluss der Flugzeugkonfiguration auf das statische und dynamische Flugverhalten zu erklären.</li> <li>3. Flugeigenschaften zu beurteilen.</li> <li>4. Steuerflächen zur Beeinflussung des Flugzustands auszulegen.</li> <li>5. Modelle für die Flugsimulation aufzustellen.</li> </ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Model, analyse, and characterize the static and dynamic motion of aircrafts.</li> <li>2. Explain the impact of the aircraft configuration on system behavior.</li> <li>3. Evaluate the handling qualities.</li> <li>4. Design control surfaces for the control of flight state.</li> <li>5. Design models for flight simulation.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Flugmechanik I: Flugleistungen und Systemtheorie und Regelungstechnik empfohlen  Flight Mechanics I: Performance and Control Engineering recommended				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur 90 min oder mündliche Prüfung 30 min / Written exam 90 min or oral exam 30 min.  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).				
<b>6</b>	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>				

	Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>          Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>          WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)          Master AE II Kernlehrveranstaltung          WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)          Master Mechatronik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>          Skript und weitere Unterlagen online zum Download. Literatur: Brockhaus: Flugregelung (Springer); Anderson: Introduction to Flight (McGraw Hill); Yechout: Introduction to Aircraft Flight Mechanics (AIAA); Stevens, Lewis: Aircraft Control and Simulation (Wiley); Cook: Flight Dynamics Principles (Elsevier); Etkin, Reid: Dynamics of Flight: Stability and Control (Wiley).          Course notes and further material available online. Textbooks: Anderson: Introduction to Flight (McGraw Hill); Yechout: Introduction to Aircraft Flight Mechanics (AIAA); Stevens, Lewis: Aircraft Control and Simulation (Wiley); Cook: Flight Dynamics Principles (Elsevier); Etkin, Reid: Dynamics of Flight: Stability and Control (Wiley).</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Flugantriebe					
<b>Flight Propulsion</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-04-4134	8 CP	240 h	194 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. H.-P. Schiffer		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Flight Propulsion	Vorlesung / Lecture	46 h (4 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Flugantriebsarten; Leistungsparameter; Wirkungsgrade; Aufbau eines Strahltriebwerks; Zustandsänderungen in den Triebwerkskomponenten; Kreisprozess; Einlauf; Düse; Verdichter; Turbine; Brennkammer; Betriebsverhalten; Triebwerksregelung; Lärm; Nachbrenner; Zweikreistriebwerke; Wellenleistungstriebwerke; Staustrahltriebwerke; Raketentriebwerke</p> <p>Types of flight propulsion; performance parameter; efficiencies; engine architecture; change of state in engine components; thermodynamic cycle of an aero engine; inlet; nozzle; compressor; turbine; combustor; off-design performance; controls; noise production; by-pass engines; turboshaft engines; afterburner; ramjets; rocket engines;</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Flugantriebsarten zu klassifizieren.</li> <li>2. Die Funktionsweise eines einfachen, luftatmenden Strahltriebwerks zu erklären.</li> <li>3. Die Schubkraft, Leistungsparameter und Wirkungsgrade eines Triebwerks herzuleiten.</li> <li>4. Die Kreisprozesse unterschiedlicher Triebwerkstypen darzustellen und zu erläutern.</li> <li>5. Die Auswirkungen verschiedener Kreisprozessparameter (z.B. Turbineneintrittstemperatur, Druckverhältnis) auf die Leistungsparameter mit Hilfe des Kreisprozesses zu erklären.</li> <li>6. Die Kernkomponenten eines Strahltriebwerks, die spezifischen Komponenteneigenschaften und -funktionsweisen zu erläutern.</li> <li>7. Die jetzigen und zukünftigen Anforderungen an ein Triebwerk aufzulisten sowie deren Bedeutung für die Komponenten, deren Auswirkung auf die Verlustmechanismen und Schadstoffentstehung zu erklären.</li> <li>8. Die Kennfelder eines Verdichters/einer Turbine zu erklären.</li> <li>9. Den Regelkreis eines Triebwerks zu erläutern.</li> <li>10. Die Ursachen der Lärm-entstehung bei einem Triebwerk zu erläutern und Maßnahmen zur Lärmreduktion zu entwickeln.</li> <li>11. Die spezifischen Eigenheiten luftatmender Triebwerkstypen, die Abwandlungen des einfachen Strahltriebwerkes (z.B. Nebenstromtriebwerk, Triebwerk mit Nachverbrennung, Wellentriebwerk) sowie deren Anwendungsbereiche, Vor- und Nachteile zu beschreiben.</li> <li>12. Die Eigenheiten und Funktionsweise von Staustrahltriebwerken zu erklären.</li> <li>13. Die Eigenheiten und Funktionsweise von Raketenantrieben zu erklären und die Abgrenzung von Raketentriebwerken zu luftatmenden Triebwerken vorzunehmen.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Classify the types of flight propulsion.</li> <li>2. Explain the operating principle of a simple airbreathing jet engine.</li> <li>3. Derive the thrust, performance parameter and efficiencies of jet engine.</li> </ol>				

	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Depict and comment the thermodynamic cycle of different types of flight propulsion.</li> <li>5. Assess the impact of different cycle parameters (e.g. turbine inlet temperature, pressure ratio) on the engine performance with help of the thermodynamic cycle.</li> <li>6. Outline the components of a jet engine, their function and their key characteristics.</li> <li>7. Outline today's and future requirements of an aero engine and explain the consequences for the components, the loss mechanisms and emissions.</li> <li>8. Explain the the component characteristics of a compressor/turbine</li> <li>9. Explain the control circuit of an airbreathing engine.</li> <li>10. Explain the sources for noise generation in a jet engine and derive measures for noise reduction.</li> <li>11. Describe the function and characteristic features of derivatives of a single-spool jet engine (e.g. by-pass jet engine, jet engine with afterburning, turboshaft engine), their field of application and their advantages and disadvantages</li> <li>12. Explain the architecture and function of a ram-jet engine</li> <li>13. Explain and compare the different types of rocket engines and differentiate air breathing jet engines and rocket engines.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Grundlagenkenntnisse in Thermodynamik und Strömungslehre (hier insbesondere kompressible Strömung) empfohlen  Basic knowledge in thermodynamics and fluid mechanics (especially compressible flow) recommended</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Klausur (90 min) oder mündliche Prüfung (30 min) / Written (90 min) or oral exam (30 min).  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Skript Flugantriebe und Gasturbinen (German)  Vorlesungsfolien inklusive der Tonaufnahme von der Vorlesung (auf der Homepage des Fachgebiets abrufbar, <a href="http://www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de">www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de</a>).  Rick, H.: Gasturbinen und Flugantriebe, Springer Vieweg (Deutsch)  Cumpsty, N. A.: Compressor Aerodynamics, Krieger Publishing (Englisch)  Cumpsty, N. A.: Jet Propulsion, Cambridge Engine Technology Series (Englisch)  Anderson, J.D.: Modern Compressible Flow, Mc Graw Hill (Englisch)  Lecture notes Flight Propulsion and Gas Turbines (German)  Lecture slides including voice recording of the lecture (accessible via homepage of the institute, <a href="http://www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de">www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de</a>).  Rick, H.: Gasturbinen und Flugantriebe, Springer Vieweg (German)  Cumpsty, N. A.: Compressor Aerodynamics, Krieger Publishing (English)  Cumpsty, N. A.: Jet Propulsion, Cambridge Engine Technology Series (English)  Anderson, J.D.: Modern Compressible Flow, Mc Graw Hill (English)</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Grundlagen der Raumfahrtsysteme					
<b>Fundamentals of Space Systems</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-23-3134	4 CP	120 h	97 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. R. Bertrand		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Fundamentals of Space Systems		Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Die Vorlesung vermittelt die Grundlagen zum Verständnis, Entwurf und Betrieb von Raumfahrtsystemen, insbesondere: Geschichtliche Entwicklung der Raumfahrt, Raumfahrtnutzung, Umweltfaktoren in der Raumfahrt, Ziolkowsky Raketengleichung, Grundlagen der Bahnmechanik und Bahnänderungsmanöver, Überblick über Subsysteme von Raumfahrtsystemen: Energieversorgung, Lage- und Bahnregelung, Thermalkontrolle, Daten- und Kommunikationssysteme.</p> <p>The lecture shall present the basics to understand, design and operate space systems, in particular: Historical development of spaceflight, utilisation of space, space environment, Ziolkowsky equation, foundations of orbit mechanics and maneuvers, overview on subsystems for space systems: energy provision, attitude and orbit control, thermal control, data handling and communication.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die geschichtliche Entwicklung der Raumfahrt mit ihren Zusammenhängen von technologischen und gesellschaftlichen Entwicklung sowie der jeweiligen Anwendungs-/Nutzungsszenarien zu erklären.</li> <li>2. Die relevanten Umweltfaktoren (z. B. Thermalstrahlung, Restatmosphäre, Partikelstrahlung usw.) für Raumfahrtsysteme zu klassifizieren und überschlägig - analytisch zu berechnen.</li> <li>3. Einfache Bahnmanöver zu beschreiben.</li> <li>4. Typische Subsysteme in ihrer Funktionalität und technischen Gestaltung und Auslegungskriterien zu beschreiben und zu analysieren.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explain the historical development of space flight with the relevant technological and societal connections, together with the respective applications and utilisation scenarios.</li> <li>2. Describe, characterise and estimate the relevant environmental factors for space systems (e.g. thermal environment, residual atmosphere, particle radiation etc.).</li> <li>3. Describe basic orbit manoeuvres.</li> <li>4. Describe and analyse typical subsystems in their functionality and design.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b>				

	Mündliche (20 min) oder schriftliche Prüfung (90 min) / Oral (20 min) or written exam (90 min). Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving credits</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau) Master AE II Kernlehrveranstaltung WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)
9	<b>Literatur / Literature</b> Messerschmid/Fasoulas: Raumfahrtssysteme, Springer Verlag - e-book Messerschmid/Bertrand: Raumstationen – Systeme und Nutzung, Springer Verlag



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Hochtemperaturwerkstoff- und Bauteilverhalten I					
<b>High Temperature Materials Behaviour I</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-08-5120	6 CP	180 h	146 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. M. Oechsner		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	High Temperature Materials Behaviour I		Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Zeitabhängige Mechanismen unter Hochtemperaturbelastung: Kriechen, Oxidation und Ermüdung  Mikrostrukturelle Aspekte von metallischen Legierungen: Rekristallisation, Erholung, Kornwachstum und Ausscheidungsbildung  Hochtemperaturfestigkeit und -verformung: Mechanismen und Modellierungskonzepte  Ermüdung unter Hochtemperaturbelastung: Thermische Ermüdung; Kriechermüdung  Hochtemperaturkorrosion: Thermodynamik und Kinetik der Oxidation, Heissgaskorrosion  Hochtemperaturlegierungen: Fe-, Co-, Ni-basierte Legierungen sowie Intermetallische Legierungen  Beschichtungen für Hochtemperaturanwendungen: Beschichtungstypen, Beschichtungs- und Charakterisierungsprozesse  Keramiken: Monolithische Keramiken und Verbundkeramiken</p> <p>Time dependent mechanism under high temperature exposure: Creep, oxidation, and fatigue.  Microstructural stability of metallic alloys: recrystallisation, recovery, grain growth and formation of precipitation  High temperature strength and deformation: Governing mechanisms and modelling concepts  Fatigue under high temperature exposure: Thermal fatigue; creep – fatigue interaction  High temperature corrosion: Thermodynamics and kinetics of oxidation; hot gas corrosion  High temperature alloys: Fe-, Co-, Ni-based alloys and intermetallics  Coatings for high temperature application: Types, deposition and characterization processes  Ceramics: Monolithics and Ceramic Matrix Composites</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relevante zeitabhängige Mechanismen unter Hochtemperaturbeanspruchung zu benennen und zu beschreiben.</li> <li>2. Mikrostrukturelle Veränderungsprozesse zu erläutern sowie deren Triebkraft und ihre Auswirkung auf das Werkstoff- und Bauteilverhalten zu diskutieren.</li> <li>3. Die Mechanismen der zeitabhängigen Verformung und Festigkeit zu erläutern sowie konstitutive als auch phänomenologische Beschreibungskonzepte und deren Modellannahmen und -einschränkungen zu diskutieren.</li> <li>4. Kriechverhalten auf Basis von experimentellen Werkstoffdaten und phänomenologischen Beschreibungsmodellen abzuschätzen.</li> <li>5. Prozesse der Ermüdung unter Hochtemperatur zu erläutern sowie den Einfluss von Kriechen und Relaxation auf das Ermüdungsverhalten zu beschreiben.</li> <li>6. Thermodynamische Grundlagen sowie kinetische Aspekte der Hochtemperaturkorrosion zu erklären und das Phänomen der Heissgaskorrosion zu erläutern.</li> </ol>				

	<p>7. Metallische und intermetallische Werkstoffe für den Hochtemperatureinsatz zu benennen, deren Anwendungsgrenzen zu diskutieren und Werkstoffe für gegebene Anwendungsfelder begründet auszuwählen.</p> <p>8. Funktionen und Wirkmechanismen von Hochtemperaturbeschichtungen zu erläutern und die wesentlichen Herstellprozesse sowie relevante Charakterisierungsmethoden zu beschreiben.</p> <p>9. Keramische Werkstoffe für den Hochtemperatureinsatz zu benennen und Vor- und Nachteile von monolithischen Keramiken gegenüber Faser-Verbundkeramiken zu diskutieren.</p> <p>After following this lecture the student will be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identify and describe relevant time-dependent mechanisms under high temperature exposure.</li> <li>2. Explain microstructural evolution processes, discuss their driving force and their effect on the behaviour of materials and components</li> <li>3. Explain the mechanisms of time-dependent deformation and strength; discuss constitutive as well as phenomenological description concepts and their model assumptions and their limitations;.</li> <li>4. Estimates of a materials creep behaviour on the basis of experimental data and/or phenomenological description models.</li> <li>5. Explain fatigue processes under high temperature loading; describe the influence of creep and relaxation on the fatigue behaviour</li> <li>6. Explain thermodynamic principles and kinetic aspects of high-temperature corrosion; explain the phenomenon of hot gas corrosion</li> <li>7. Know metallic and intermetallic material systems for high-temperature applications and discuss their application limits; select materials for given fields of application in a justified manner.</li> <li>8. Explain the functions and working principles of high-temperature coatings, describe essential manufacturing processes and relevant characterisation methods.</li> <li>9. Name ceramic materials for high-temperature applications; discuss the advantages and disadvantages of monolithic ceramics compared to Ceramic Matrix Composites.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Kenntnis der Grundlagen der Werkstoffkunde (z.B. Werkstoffkunde I) empfohlen  Knowledge of fundamentals in Materials Engineering (e.g. Werkstoffkunde I) recommended</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche Prüfung (45 min) oder Klausur 60 min / Oral (45 min) or written exam 60 min.  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Oechsner, M: Umdruck zur Vorlesung (Foliensätze)  Maier H.J., Niendorf T., Bürgel R. (2019) Handbuch Hochtemperatur-Werkstofftechnik. Springer Vieweg, Wiesbaden  Rösler J., Harders H., Bäker, M. (2019) Mechanisches Verhalten der Werkstoffe, Springer-Verlag  Birks, N., Gerald H. Meier G.H., Pettit F.S. (2006) Introduction to the high temperature oxidation of metals. Cambridge University Press</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Grundlagen der Turbulenz					
<b>Introduction to Turbulence</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-64-5130	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 6 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 180 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 135 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. M. Oberlack		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Introduction to Turbulence		Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)
	-ue	Introduction to Turbulence		Übung / Recitation	11 h (1 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Ursachen der Turbulenz (Einführung in die lineare Stabilitätstheorie); Einführung in die Turbulenz und ihre statistische Beschreibung; Reynoldsche Zerlegung, Filterung und gemittelte Grundgleichung; Korrelationsgleichung (Ein- und Mehrpunkt); Isotrope Turbulenz und die von Karman-Howarth Gleichung; turbulenter Decay; Turbulente Längenskalen; Kolmogorovsche Theorie; Energiespektrum; weitere Theorien isotroper Turbulenz (Intermittenz); turbulente wandgebundene Grenzschichten; Skalengesetze in der Turbulenz; reibungsfreie Strömungen; turbulente Strömungen mit Ablösungen.</p> <p>Origin of turbulence and introduction of stability theory; introduction to turbulence and its statistical description; Reynolds decomposition, filtering and averaging the basic equations; correlation equations (one- and multi point); isotropic turbulence and the Karman-Howarth equation; turbulent decay; turbulent length-scales; Kolmogorov theory; energy spectrum; deeper investigations of isotropic turbulence (Intermittency); turbulent wall bounded flows; boundary and turbulent scaling laws; free shear flows; detached turbulent flows.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Gesetzmässigkeiten zur statistischen Beschreibung von Turbulenz, basierend auf den Navier-Stokes Gleichungen, zu kennen.</li> <li>2. Zentrale Definitionen für turbulente Parameter wie Längen- und Zeitmaße auszudrücken.</li> <li>3. Die Herleitung der Kolmogorovsche Theorie und die turbulente Energiespektren sowie Erweiterungen für höhere Korrelationen zu erklären.</li> <li>4. Die Herleitung der Zwei- und Mehr-Punkt Korrelationsgleichungen zu erklären.</li> <li>5. Eine Vielzahl klassischer Strömungsformen z.B. wandnahe oder freie turbulente Strömungen zu unterscheiden und diese unter Angabe der jeweiligen Skalengesetze zu skizzieren.</li> <li>6. Bei den Modellierungskonzepten der verschiedenen RANS Konzepte die unterschiedlichen Modellklassen zu kennen, sie anhand ihrer Vor- und Nachteile zu unterscheiden sowie die zentralen Modellierungskonzepte zu skizzieren und zu erläutern.</li> <li>7. Die wesentlichen Ideen der Large-Eddy Simulation anhand von Gleichungen zu erläutern und die Vorteile aufzeigen sowie eine Abgrenzung zu den RANS Modellen vornehmen zu können.</li> <li>8. Die Möglichkeiten und Grenzen bei allen Berechnungsmethoden gegeneinander abgrenzen zu können.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p>				

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Know the regularities for the statistic description of turbulence, based on the Navier-Stokes equations.</li> <li>2. Express basic definitions for turbulent parameters such as length and time scales.</li> <li>3. Explain the deduction of the Kolmogorov theory and turbulent energy spectra as well as extensions for higher correlations.</li> <li>4. Explain the deduction of the two- and multi-point correlation equations.</li> <li>5. Distinguish a multiplicity of classical flow forms e.g. near-wall or free turbulent flows and to outline these flows under specification of the respective scale laws.</li> <li>6. Know the modelling concepts of the different RANS concepts, to distinguish them on the basis of their disadvantages and advantages and to outline and clarify the main modelling concepts.</li> <li>7. Describe the substantial ideas of the Large Eddy Simulation on the basis of equations, show advantages as well as carry out a delimitation of the RANS models.</li> <li>8. Delimit the possibilities and limitations of all calculation methods.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b></p> <p>Empfohlen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Technische Strömungslehre oder Grundkenntnisse der Strömungslehre</li> <li>2) Gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen</li> </ol> <p>Recommended:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Technical Fluid Mechanics or basic knowledge of fluid mechanics</li> <li>2) Ordinary and partial differential equations</li> </ol>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b></p> <p>Mündliche Prüfung 30 min / Oral exam 30 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b></p> <p>Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b></p> <p>Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b></p> <p>WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)</p> <p>Master AE II Kernlehrveranstaltung</p> <p>WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b></p> <p>Pope: Turbulent Flows, Cambridge University press 2000; Davidson: Turbulence: an introduction for scientist and engineers; Tenenkes and Lumley: A first Course in turbulence; Tsinober: An informal introduction to turbulence; Rotta: Turbulente Strömungen, Teubner Verlag 1972; Vorlesungsskript / Lecture notes</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Lasermesstechnik <b>Laser Measurement Technology</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-13-5110	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 86 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr. rer. nat. A. Dreizler		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Laser Measurement Technology	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Laser Measurement Technology	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Funktionsweise optischer Geräte (Laser, Monochromatoren, Kamera), Temperatur- und Konzentrationsmessung (Raman-Rayleigh-Spektroskopie, kohärente anti-Stokes-Raman-spektroskopie), Radikalkonzentrationsmessung (Laser-induzierte Fluoreszenz), nichtlineare Spektroskopiemethoden zur Temperaturmessung, laserbasierte Strömungsmeßtechnik  Operation of optical instruments (laser, monochromators, camera), temperature and concentration measurements (Raman-Rayleigh-spectroscopy, coherent-anti-Stokes-Raman-spectroscopy), measurement of chemical radicals (laser-induced fluorescence), non-linear spectroscopy for gas phase thermometry, laser-based flow measurements.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Grundbegriffe der geometrischen Optik und wichtige optische Elemente zu erklären.</li> <li>2. Die wichtigsten diagnostischen Geräte wie Laser und optische Detektoren zu beschreiben.</li> <li>3. Die wichtigsten linearen laseroptischen Verfahren zur Messung thermodynamischer Zustandsgrößen und Konzentrationen chemischer Teilchenarten zu beschreiben.</li> <li>4. Ausgewählte nicht-lineare laseroptische Messverfahren zu kennen und theoretisch zu beschreiben.</li> <li>5. Die Grundlagen laseroptischer Geschwindigkeits- und Partikelgrößenmessung zu erklären</li> </ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explain the basics of geometrical optics and most important optical components.</li> <li>2. Describe and know the most important diagnostic instruments such as lasers and optical detectors.</li> <li>3. Describe the most important linear laser optical techniques for the measurement of thermodynamic state variables as well as species concentrations.</li> <li>4. Know and describe theoretically non-linear laser optical techniques.</li> <li>5. Explain the fundamentals of laser optical flow and particle measurement techniques.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Grundkenntnisse in Physik / knowledge of physics at a fundamental level				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Mündliche Prüfung 30 min / Oral exam 30 min.				

6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>          Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>          Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>          WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)          Master AE II Kernlehrveranstaltung          WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>          Skript wird in der Vorlesung verteilt, kann aber auch von der Institut-Homepage heruntergeladen werden          Script will be distributed before each lesson. It can also be downloaded from the institute's homepage.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Leichtbau I					
<b>Lightweight Engineering I</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-12-5040	4 CP	120 h	86 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. habil. C. Mittelstedt		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Lightweight Engineering I	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Lightweight Engineering I	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
<p>Die Lehrinhalte orientieren sich an den folgenden Prinzipbauteilen eines Passagierflugzeugs, die ausführlich vorgestellt und in ihrer Funktionsweise erläutert werden: 1) Rumpfspant, 2) Hautfeld (System aus Stringer/Spant/Haut), 3) Querträger, 4) Druckschott.</p> <p>Die Vorlesungsinhalte sind im Einzelnen:</p> <p><u>Einführung:</u> Aufgaben des Leichtbaus, Leichtbauprinzipien, Idealisierungskonzepte</p> <p><u>Festigkeitslehre:</u> Wiederholung: Schnittgrößen und Konstitutivgesetz am Balken; Spannungen und Verzerrungen im 2D- und 3D-Fall; Ebener Spannungs- und Verzerrungszustand.</p> <p><u>Prinzipbauteile:</u> Einführung in die Statik des Rumpfes eines Passagierflugzeugs, Prinzipbauteile: 1. Spant, 2. Hautfeld (System aus Stringer/Spant/Haut), 3. Druckschott, 4. Querträger.</p> <p><u>Biegung balkenförmiger Bauteile I:</u> Einfache Biegung am Euler-Bernoulli-Balken und Doppelbiegung, Nachweisführung, Leichtbaugerechte Vereinfachungen, Beispiel: Querträger.</p> <p><u>Biegung balkenförmiger Bauteile II:</u> Schubweiche Balkentragwerke, Auswirkung von Schubverformungen, Nachweisführung, Beispiel: Querträger.</p> <p><u>Biegung balkenförmiger Bauteile III:</u> Querkraftbiegung, Berechnung von Schubspannungen an offenen Profilen, Schubmittelpunkt, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Flugzeugspant (Z-Spant).</p> <p><u>Biegung balkenförmiger Bauteile IV:</u> Querkraftbiegung, Berechnung von Schubspannungen an geschlossenen und gemischten Profilen, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Flugzeugspant mit geschlossenem Querschnitt (Omega-Spant).</p> <p><u>Torsion balkenförmiger Bauteile I:</u> St. Venantsche Torsion offener dünnwandiger Profile, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Flugzeugspant (Z-Spant).</p> <p><u>Torsion balkenförmiger Bauteile II:</u> St. Venantsche Torsion geschlossener dünnwandiger Profile, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Flugzeugspant (Omega-Spant), Einführung in die Wölbkrafttorsion, Beispiel: Querträger.</p> <p><u>Torsion balkenförmiger Bauteile III:</u> Weiterführung der Wölbkrafttorsion, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Querträger, Nachweisführung bei kombinierten Beanspruchungen.</p> <p><u>Stabilität I:</u> Knicken elastischer Stäbe, Perfekte und imperfekte Strukturen, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Knicken von Stringern.</p> <p><u>Stabilität II:</u> Weiterführung imperfekte Strukturen, Inelastisches Knicken, Leichtbaugerechtes Auslegen</p> <p><u>Stabilität III:</u> Biegedrillknicken und Kippen, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Flugzeugspant (Z-Spant).</p> <p>The contents of this course will be illustrated by assessment of the following representative parts of a passenger aircraft that will be discussed in detail: 1) fuselage frame, 2) skin panel (system consisting of skin, stringer, frame), 3) cross-beam, 4) rear pressure bulkhead.</p> <p>Contents:</p> <p><u>Introduction:</u> What is lightweight engineering? Principles of lightweight engineering, idealization concepts</p>					

	<p><u>Strength of materials:</u> repetition: State variables and constitutive behaviour of elastic beams, stresses and strains in 2D and 3D, plane states of stress and strain.</p> <p><u>Representative aircraft parts:</u> Introduction to the statics of a passenger aircraft fuselage, representative parts: 1. frame, 2. skin panels (system of stringer/frame/skin), 3. rear pressure bulkhead, 4. cross-beam.</p> <p><u>Bending of beams I:</u> Simple bending of an Euler-Bernoulli-beam, bending in two directions, justification approaches, simplifications, example: cross-beam.</p> <p><u>Bending of beams II:</u> Shear-deformable beams, impact of shear deformations, justification approaches, example: cross-beam.</p> <p><u>Bending of beams III:</u> transverse shear forces, analysis of shear stresses for open profiles, shear center, lightweight design, example: Z-frame).</p> <p><u>Bending of beams IV:</u> analysis of shear stresses for closed profiles, lightweight design, example: Omega-frame.</p> <p><u>Torsion I:</u> St. Venant torsion of open-profile beams, lightweight design, example: Z-frame.</p> <p><u>Torsion II:</u> St. Venant torsion of closed-profile beams, lightweight design, example: Omega-frame, introduction to warping torsion, example: cross-beam.</p> <p><u>Torsion III:</u> Warping torsion continued, lightweight design, example: cross-beam, justification for combined loads.</p> <p><u>Buckling I:</u> Buckling of elastic beams, perfect and imperfect beams, lightweight design, example: buckling of stringers.</p> <p><u>Buckling II:</u> Imperfect structures, inelastic buckling, lightweight design.</p> <p><u>Buckling III:</u> Torsional-flexural buckling, lateral buckling, lightweight design, example: Z-frame.</p>
3	<p><b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b></p> <p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die geeigneten Methoden auszuwählen, um möglichst leichte Strukturen zu gestalten.</li> <li>2. Die spezielle Mechanik der Leichtbaustrukturen auf beliebige praxisrelevante Problemstellungen zu übertragen.</li> <li>3. Leichtbau-optimale Geometrien auszuwählen und sie zu dimensionieren.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Choose adequate methods to design a structure as light as possible.</li> <li>2. Transfer the specific lightweight engineering mechanics to arbitrary practically relevant problems..</li> <li>3. Select and size the most suitable geometries for lightweight constructions.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b></p> <p>-</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b></p> <p>Mündliche Prüfung 20 min / Oral exam (20 min.)</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b></p> <p>Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b></p> <p>Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b></p> <p>WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  Master MB II SP SUR  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)  Master Mechanik / Master Mechatronik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b></p> <p>GROSS, D., HAUGER, W. und WRIGGERS, P., 2011. Technische Mechanik 4. 8. Auflage. Berlin et al.: Springer.  WIEDEMANN, J., 1996. Leichtbau 1: Elemente. 2. Auflage. Berlin et al.: Springer Verlag.</p>



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Leichtbau II					
<b>Lightweight Engineering II</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-12-5050	4 CP	120 h	86 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. habil. C. Mittelstedt		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Lightweight Engineering II	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Lightweight Engineering II	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Die Vorlesungsinhalte werden ebenfalls anhand der in der Lehrveranstaltung „Konstruktiver Leichtbau I“ eingeführten Prinzipbauteile eines Passagierflugzeugs (1) Rumpfspant, 2) Hautfeld (System aus Stringer/Spant/Haut), 3) Querträger, 4) Druckschott) eingehend illustriert. Die Inhalte sind:</p> <p><u>Tragwerke I:</u> Schubwand- und Schubfeldträger (offen / geschlossen; statisch bestimmt / unbestimmt), Beispiel: System Stringer / Spant / Haut.</p> <p><u>Tragwerke II:</u> Isotrope und orthotrope Scheiben, Scheibengleichung und Lösungen, Beispiel: Gelochte Scheiben, orthotroper Flugzeugspant.</p> <p><u>Tragwerke III:</u> Orthotrope Platten, Plattengleichung und Lösungen, Beispiel: Bodenplatte A350 (Sandwich).</p> <p><u>Stabilität I:</u> Plattenbeulen: Exakte Lösungsmethoden, Beispiel: Hautfeld.</p> <p><u>Stabilität II:</u> Beulen ausgesteifter Platten: Exakte Lösungen, Näherungsverfahren, Auswirkung von Aussteifungsmustern, Leichtbaugerechtes Auslegen.</p> <p><u>Stabilität III:</u> Lokales Beulen dünnwandiger Träger, Beispiel: Z-Spant, Omega-Spant.</p> <p><u>Faserverbund-Bauweisen I:</u> Einführung in die klassische Laminattheorie, Beispiel: Hautfeld A350.</p> <p><u>Faserverbund-Bauweisen II:</u> Konstruktionsprinzipien, Laminattheorien höherer Ordnung.</p> <p><u>Sandwich-Bauweisen I:</u> Einführung, Vor- und Nachteile, Kernmaterialien, Herstellverfahren, Einsatzgebiete, Krafteinleitungen.</p> <p><u>Sandwich-Bauweisen II:</u> Schubdeformationstheorien, Festigkeitsanalyse, Leichtbaugerechtes Auslegen, Beispiel: Druckschott A350.</p> <p>The contents of this course will be illustrated using the same representative parts as they were already discussed in the course „lightweight engineering I“. In detail, the contents are:</p> <p><u>Load bearing structures I:</u> Shear wall girders (open / closed; statically determinate / indeterminate), example: system stringer / frame / skin.</p> <p><u>Load bearing structures II:</u> Isotropic and orthotropic disks, disk equations and solutions, example: panels with circular openings, orthotropic aircraft frame.</p> <p><u>Load bearing structures III:</u> Orthotropic plates, plate equations and solutions, example: floor plate A350 (sandwich).</p> <p><u>Buckling I:</u> Buckling of plates: exact solution methods, example: skin panel.</p> <p><u>Buckling II:</u> Buckling of stiffened plates, exact solution methods, approximation methods, impact of stiffeners, lightweight justification.</p> <p><u>Buckling III:</u> Local buckling of thin-walled beams, examples: Z-frame, omega-frame.</p> <p><u>Composite Structures I:</u> Introduction to Classical Laminated Plate Theory, Example: skin panel A350.</p> <p><u>Composite Structures II:</u> Construction principles for composite structures, higher-order theories.</p>				

	<p><u>Sandwich structures I</u>: Introduction, advantages and disadvantages, core materials, manufacturing methods, applications, load introductions.</p> <p><u>Sandwich structures II</u>: Shear deformation theories, strength assessment, lightweight justification, example : rear pressure bulkhead A350.</p>
3	<p><b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b></p> <p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die grundlegenden, für Leichtbaustrukturen relevanten Tragwerke hinsichtlich ihres Tragverhaltens einzuschätzen und die verfügbaren exakten Lösungsverfahren auf Beispiele der Praxis anzuwenden.</li> <li>2. Statische Probleme von Leichtbautragwerken mittels Approximationsmethoden zu lösen.</li> <li>3. Erlernte Methoden für gegebene spezifische praktische Probleme selbsttätig auszuwählen und zielgerichtet anzuwenden.</li> <li>4. Bauteile im Rahmen des Leichtbaus hinsichtlich ihres statischen Verhaltens sicher auszulegen und Optimallösungen zu finden.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assess the general characteristics of the static behaviour of lightweight structures and to apply available exact solution methods to practically relevant examples.</li> <li>2. Solve static boundary value problems of load bearing structures using approximate solution methods.</li> <li>3. Select appropriate solution methods for specific practical problems and to apply them independently.</li> <li>4. Design load bearing lightweight structures in a safe manner and to find optimal designs.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b></p> <p>Leichtbau I empfohlen / Lightweight engineering I recommended.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b></p> <p>Mündliche Prüfung 20 min / Oral exam (20 min.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b></p> <p>Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b></p> <p>Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b></p> <p>WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)</p> <p>Master AE II Kernlehrveranstaltung</p> <p>Master MB II SP SUR</p> <p>WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p> <p>Master Mechanik</p> <p>Master Mechatronik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b></p> <p>ALTENBACH, H., ALTENBACH, J. und NAUMENKO, K., 1998. Ebene Flächentragwerke. Berlin et al.: Springer.</p> <p>GROSS, D., HAUGER, W. und WRIGGERS, P., 2011. Technische Mechanik 4. 8. Auflage. Berlin et al.: Springer.</p> <p>WIEDEMANN, J., 1996. Leichtbau 1: Elemente. 2. Auflage. Berlin et al.: Springer Verlag.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Mechatronische Systemtechnik I					
<b>Mechatronic Systems I</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-24-5020	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 74 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. S. Rinderknecht		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Mechatronic Systems I		Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)
	-ue	Mechatronic Systems I		Übung / Recitation	23 h (2 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Strukturdynamik für mechatronische Systeme; Regelstrategien für mechatronische Systeme; Komponenten mechatronischer Systeme: Aktoren, Verstärker, Regler, Mikroprozessoren, Sensoren. Structural dynamics for mechatronic systems; control strategies for mechatronic systems; components for mechatronic systems: actuators, amplifier, controllers, microprocessors, sensors.				
	<b>3</b> <b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: 1. Die strukturdynamischen Gleichungen der mechanischen Komponenten aufzustellen. 2. Die passenden Regler für starre und elastische Systemkomponenten auszulegen. 3. Mechatronische Gesamtsysteme (Regelkreis) unter vereinfachter Berücksichtigung von Sensoren und Aktoren zu simulieren. 4. Das Verhalten mechatronischer Gesamtsysteme zu erklären. On successful completion of this module, students should be able to: 1. Model the structural dynamic components. 2. Design the best suited controllers for rigid and elastic system components. 3. Simulate complete mechatronic systems (control loops) under simplified considerations for actuators and sensors. 4. Explain the static and dynamic behaviour of the mechatronic system.				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Mündliche Prüfung 20 min / Oral exam 20 min.				
<b>6</b>	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.				
<b>7</b>	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)				

8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau) Master MB II SP SUR Master MB II SP FAS Master AE II Kernlehrveranstaltung WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)
9	<b>Literatur / Literature</b> Skriptum lectures notes

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Mechatronische Systemtechnik II					
<b>Mechatronic Systems II</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-24-5030	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 74 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. S. Rinderknecht		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7					
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Mechatronic Systems II	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Mechatronic Systems II	Übung / Recitation	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Aktorik; Mensch-Maschine-Schnittstelle; Entwicklungsmethodik; Systemintegration. Actuators; Human-Machine-Interface; development methods, system integration.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Funktionsprinzipien elektromagnetischer, elektrodynamischer und piezoelektrischer Aktoren zu erklären und diese begründet einsetzen.</li> <li>2. Die Grundprinzipien unterschiedlicher Mensch-Maschine-Schnittstellen anhand von Beispielen zu erklären.</li> <li>3. Methodik und Anforderungen bei der Entwicklung von komplexen mechatronischen Systemen zu beschreiben.</li> <li>4. Mechatronisches Systemdenken zum Zwecke der Systemintegration und Optimierung auf unterschiedliche Beispiele anzuwenden.</li> </ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explain the functional principles of electromagnetic, electrodynamic, and piezoelectric actuators and reasonably apply these.</li> <li>2. Explain the general principles of human-machine-interfaces on the basis of examples.</li> <li>3. Describe methods and requirements for the development of complex mechatronic systems.</li> <li>4. Apply mechatronic system thinking for the purpose of system integration and optimization of different examples.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Grundlagen in Mechatronik, Technischer Mechanik, Elektrotechnik und Regelungstechnik sind erforderlich. Basic knowledge of mechatronics, engineering mechanics, electrical engineering and control engineering is required.				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Mündliche Prüfung 20 min / Oral exam 20 min.				
<b>6</b>	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>				

	Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau) Master MB II SP SUR Master MB II SP FAS Master AE II Kernlehrveranstaltung WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)
9	<b>Literatur / Literature</b> Handouts zur Vorlesung werden im Intranet zum Herunterladen bereitgestellt. Nordmann, R.; Birkhofer, H.: Maschinenelemente und Mechatronik I. Schröder, D.: Elektrische Antriebe - Grundlagen. Bertsche, B.; Naunheimer, H.; Lechner, G.: Fahrzeuggetriebe. Löw, P.; Pabst, R.; Petry, E.: Funktionale Sicherheit in der Praxis. Lecture handouts can be downloaded in the intranet. Nordmann, R.; Birkhofer, H.: Maschinenelemente und Mechatronik I. Schröder, D.: Elektrische Antriebe - Grundlagen. Bertsche, B.; Naunheimer, H.; Lechner, G.: Fahrzeuggetriebe. Löw, P.; Pabst, R.; Petry, E.: Funktionale Sicherheit in der Praxis.

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Modellierung turbulenter Strömungen					
<b>Modeling of Turbulent Flows</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-71-3024	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 8 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 240 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 172 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. C. Hasse		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Modeling of Turbulent Flows	Vorlesung / Lecture	45 h (4 SWS)	
	-ue	Modeling of Turbulent Flows	Übung / Recitation	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Kontinuumsmechanik (Transportgleichungen), Grundlagen der Turbulenz (Eigenschaften, Zeit und Längenskalen, mathematische Grundlagen, spektrale Sichtweise), statistische Turbulenzmodellierung (RANS), Direkte Numerische Simulation, Grobstruktur-Simulation (Filterungsoperationen, Modellierung, Modellauswahl).  Continuum mechanics (transport equations), basics of turbulence (properties, mathematical basics, time and length scales, spectral perspective), statistical turbulence modeling( RANS), Direct Numerical Simulation, Large Eddy Simulation (filtering, modeling, dynamic models, choice of model).				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Transiente Strömungsphänomene und Erscheinungsformen der Turbulenz zu beschreiben.</li> <li>2. Die mathematischen Grundlagen und Kennzahlen der Turbulenz zu erläutern.</li> <li>3. Die beschreibenden Gleichungen sowie ihre Modellierungsformen herzuleiten und anhand grundlegender Strömungstypen zu interpretieren.</li> <li>4. Die wichtigsten technischen Strömungstypen zu erkennen und zu charakterisieren.</li> <li>5. Die Dynamik turbulenter Strömungen sowie ihre beschreibenden mathematischen Methoden zu erläutern.</li> <li>6. Die grundlegenden Modelle der modernen Strömungsberechnungsprogramme zu erläutern, korrekt anzuwenden und die Ergebnisse zu bewerten.</li> <li>7. Die Auflösungsbedingungen der Direkten Numerischen Simulation zu erklären und die damit verbundenen Anforderungen an Hochleistungsrechner abzuschätzen.</li> <li>8. Die Grundlagen und Modellierungsansätze der Grobstruktursimulation zu erläutern und anzuwenden.</li> </ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe transient flow phenomena and their forms of appearance.</li> <li>2. Explain the mathematical background and flow parameters of turbulence.</li> <li>3. Derive the describing governing equations as well as their modeled form and interpret them by means of fundamental types of flows.</li> <li>4. Recognize and characterize the most important types of technical flows.</li> <li>5. Depict the dynamics of turbulent flows and elucidate the mathematical methods for their description.</li> </ol>				

	<p>6. Describe the fundamental models within modern flow solvers, apply them correctly, and assess their results.</p> <p>7. Explain the resolution requirements of the Direct Numerical Simulation and therewith estimate its resource demands for high performance computers.</p> <p>8. Elucidate and apply the fundamentals and modeling approaches of the Large Eddy Simulation.</p>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Vorlesung Technische Strömungslehre empfohlen  Fundamental Fluid Mechanics recommended</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche Prüfung 30 min / Oral exam 30 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB II (Kernlehrveranstaltung aus dem Maschinenbau)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  Master MB II SP CEPE  WPB Master PST III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Vorlesungsfolien und eine deutsche Aufzeichnung der Vorlesung werden in Moodle bereitgestellt. Weiterführende Literatur wird in der Vorlesung erläutert.  Lecture slides and a German recording of the lecture will be made available via Moodle. Further literature will be outlined in the lecture.</p>



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Raumfahrtssysteme und Raumfahrtbetrieb					
<b>Space Systems and Operations</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-23-3194	4 CP	120 h	97 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. R. Bertrand		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Space Systems and Operations		Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Aufbauend auf der Vorlesung „Grundlagen der Raumfahrtssysteme“ führt diese Vorlesung ein in Aufbau und Funktionen von Raumfahrtssystemen sowie in deren Betrieb und Nutzung. Typische Subsystemfunktionen für Energieversorgung, Lage- und Bahnregelung, Thermalkontrolle, Daten- und Kommunikationssysteme werden systematisch vorgestellt und deren ingenieurtechnische Umsetzung wird veranschaulicht. Prozesse und Systeme zum Betrieb bzw. zur Nutzung von Raumfahrtssystemen werden eingeführt. Besonderer Wert wird auf die überschlägige Dimensionierung aller Schlüsselfunktionen im Rahmen des Vorentwurfs von Raumfahrtssystemen gelegt.</p> <p>Based on the course „Foundations of Space Systems“, this lecture will introduce into structures and functions of space stations as well as into space operations and utilisation. Typical subsystem functions such as power systems, attitude and orbit control systems, thermal control systems, data handling and communication systems will be presented in a systematic manner, together with the respective implementation in an engineering design. Another focus will be on processes and systems needed to operate and exploit space systems. Special emphasis will be given on conceptual design methods for all key functions in context of early design phases.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Den Aufbau eines Raumfahrtssystems mit der Untergliederung in typische Subsysteme zu erläutern.</li> <li>2. Das Zusammenspiel von Subsystemen im Gesamtsystem sowie die ingenieurstechnische Umsetzung zu erklären.</li> <li>3. Prozesse und Systeme zum Betrieb von Raumfahrtssystemen zu analysieren.</li> <li>4. Die Schlüsselsubsysteme von Raumfahrzeugen im Rahmen eines Vorentwurfs auszulegen.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reflect the structure of a space system with the typical break-down into subsystems.</li> <li>2. Explain the interaction of system elements at system level together with the respective engineering solutions.</li> <li>3. Analyse processes and systems needed to operate and exploit space systems.</li> <li>4. Design of key subsystems of space systems in early design phases.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>				
	Erfolgreiche Teilnahme an der Vorlesung/Prüfung „Grundlagen der Raumfahrtssysteme“ empfohlen				

	Successful participation in the course/examination „Foundations of Space Stations“ recommended
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche (20 min) oder schriftliche Prüfung (90 min) / Oral (20 min) or written exam (90 min).  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving credits</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MPE II (Kernlehrveranstaltungen)  Master AE II Kernlehrveranstaltung  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Messerschmid/Fasoulas: Raumfahrtsysteme, Springer Verlag - e-book  Messerschmid/Bertrand: Raumstationen – Systeme und Nutzung, Springer Verlag Space Mission Analysis and Design,  Space Mission Engineering, the new SMAD, Microcosm Press  Human Space Mission Analysis and Design, Space Technology Library Spacecraft Operations, Springer Verlag</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Verdichtertechnologie  <b>Compressor Technology</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-04-5080	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 97 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Dr.-Ing. S. Leichtfuß		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Verdichtertechnologie		Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Verdichterauslegung, Verlustmechanismen, instabile Betriebszustände, Stabilisierungsmaßnahmen, Aeroelastik, experimentelle Validierung.  Compressor design, loss mechanisms, unstable operating conditions, means of stability enhancement, aeroelasticity, experimental validation.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die wichtigsten Überlegungen zur Auslegung und Dimensionierung moderner Turboverdichter (Bestimmung der Drehzahl, Stufenzahl, Abmessungen) darzulegen.</li> <li>2. Auftretenden Verluste und Blockagemechanismen zu beschreiben und mittels Korrelationen zu quantifizieren.</li> <li>3. Instabile Verdichtierzustände (statisch/dynamisch) und deren Auswirkungen zu identifizieren und das Versagensrisiko anhand verschiedener Kriterien zu bewerten.</li> <li>4. Die Entstehung umlaufender Ablösungen zu erklären.</li> <li>5. Die Funktionsweise von Stabilisierungsmaßnahmen, deren Unterschiede sowie individuelle Vor- und Nachteile zu beurteilen.</li> <li>6. Den Einfluss aerodynamischer Effekte auf die Strukturmechanik der Schaufeln zu beschreiben und sie in den Kategorien selbsterregte und erzwungene Schwingungen zu unterscheiden.</li> <li>7. Campbell-Diagramme zu erstellen und zu erklären.</li> <li>8. Verschiedene experimentelle Validierungsverfahren zu erklären und unterschiedliche Messverfahren für verschiedene Anwendungsfälle zu empfehlen.</li> </ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe the most important aspects for the design and dimensioning of modern turbo compressors (determination of rotational speed, stage number, and diameters).</li> <li>2. Describe losses and blockage mechanisms inside the compressor passages and quantify by the use of correlations.</li> <li>3. Identify static/dynamic instability and their effects on operating range and estimate the risk of an onset of instability through various criteria.</li> <li>4. Explain the development of rotating stall cells.</li> <li>5. List different means of stability enhancement and assess based on their individual advantages and work principles</li> <li>6. Describe the impact of aerodynamic effects on structural mechanics and differentiate between self-induced and forced vibration.</li> <li>7. Draw and explain Campbell diagrams in detail.</li> </ol>				

	8. Explain procedures for experimental validation and recommend for/against different measurement techniques depending on the test case.
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Grundlagenkenntnisse in Thermodynamik und Strömungslehre (hier insbesondere kompressible Strömung) sind zwingend erforderlich, Grundlagen der Flugantriebe oder Thermische Turbomaschinen.</p> <p>Basic knowledge in thermodynamics and fluid mechanics (especially compressible flow) is essential. Flight Propulsion Fundamentals or Thermal Turbomachinery.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche Prüfung 30 min / Oral exam 30 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Skript Flugantriebe und Gasturbinen. Vorlesungsfolien (auf der Homepage des Fachgebiets abrufbar, <a href="http://www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de">www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de</a>).</p> <p>Lecture notes Flight Propulsion and Gas Turbines. Lecture View Foils (available on Homepage of Fachgebiet, <a href="http://www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de">www.glr.maschinenbau.tu-darmstadt.de</a>).</p> <p>Bräunling, W. J. G.: Flugzeugtriebwerke, Springer Verlag 2009.  Grieb, H.: Verdichter für Turbo-Flugtriebwerke, Springer Verlag 2009.  Cumpsty, N. A.: Compressor Aerodynamics, Krieger Publishing 2004.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Grundlagen der Navigation I					
<b>Fundamentals of Navigation I</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-23-5050	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 86 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Prof. Dr.-Ing. J. Beyer		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Fundamentals of Navigation I	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Fundamentals of Navigation I	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Navigationsarten, Erdmodelle, Koordinatensysteme, Radionavigation, Grundlagen und Instrumente (ADF, VOR, DME, ILS), Koppelnavigation, Funktionsprinzip und Fehleranalyse, Satellitennavigation, Einführung in GPS, Signalaufbau und Messprinzip, Verminderung der Präzession (Dilution of Precision, DoP), Differential-GPS, Augmentation Systeme (RAIM, GIC, WAAS, LAAS, EGNOS). Navigation principles, Earth models, Coordinate systems, Radio navigation, Basics and instruments (ADF, VOR, DME, ILS), dead reckoning, functional principles and error analysis, satellite navigation, Introduction into GPS, signal description and measurement principles, Dilution of Precision (DoP), Differential GPS, Augmentation systems (RAIM, GIC, WAAS, LAAS, EGNOS).				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b> Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Physik der Navigation auf der Erde zu erklären.</li> <li>2. Die verwendeten Koordinatensysteme und möglichen Kartenprojektionen einzuordnen.</li> <li>3. Die Verfahren der Radio-, Koppel- und Satellitennavigation hinsichtlich ihrer Performance und Einsatzmöglichkeiten zu beurteilen.</li> </ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explain the physics associated with the navigation of the earth.</li> <li>2. Classify common coordinate systems and map projections.</li> <li>3. Judge the methods of radio, coupling, and satellite navigation with respect to performance and applications.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Empfohlen: Systemtheorie und Regelungstechnik Recommended: Control Engineering				
<b>5</b>	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Mündliche Prüfung (in 3er-Gruppen) 60 min ~ 20 min / Person Oral exam (in a group with 3 students) 60 min ~ 20 min per participant				
<b>6</b>	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>				

	Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft) WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik) Master Mechatronik
9	<b>Literatur / Literature</b> Vorlesungsskript verfügbar. Course notes available.

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Grundlagen der Navigation II					
<b>Fundamentals of Navigation II</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-23-5060	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 86 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Prof. Dr.-Ing. J. Beyer		
<b>Level (EQF / DQR): 7</b>					
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Fundamentals of Navigation II		Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)
	-ue	Fundamentals of Navigation II		Übung / Recitation	11 h (1 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Inertialnavigation (Aufbau Strapdown-Algorithmus, Fehlermodell, Schulerschwingung, barometrische Höhenstützung, Ringlaserkreiselmodell und Funktionsweisen). Integrierte Navigation (Signalmittelung, Luenberger-Beobachter, Wiener-Filter, Kalman-Filter, Fehlerdetektion und – isolation, Open- und Closed-Loop-Konzept, Geländedatenbank basierte Verfahren). Navigation im Flugzeug (Aufbau und Struktur der Hybridnavigation, Navigationsdatenbank, Navigationsmodes im Flugzeug, Guidance and Control, 4D-Navigation, Required Time of Arrival). Anwendungen und Beispiele (Map Shifts, Koppelnavigation).</p> <p>Inertial navigation (Structure of strapdown algorithm, error model, Schuler oscillation, barometric aiding, ring laser gyro model and functionality). Integrated navigation (Signal blending, Luenberger observer, Wiener filter, Kalman filter, failure detection and isolation, open- and closed-loop concept, terrain database-based methods). Aircraft navigation (Structure of hybrid navigation, navigation database, navigation modes, guidance and control, 4D navigation, required time of arrival), applications, and examples (Map shifts, dead reckoning navigation).</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Verfahren der Inertialnavigation und der integrierten fehlertoleranten Navigation hinsichtlich ihrer Performance und Einsatzmöglichkeiten zu beurteilen.</li> <li>2. Die Funktion und Einsatzmöglichkeiten von Flight Management Systemen zu beschreiben.</li> <li>3. Die aktuelle Verfahren der Flugführung einzuordnen.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Judge the methods of inertial and integrated fault tolerant navigation with respect to performance and applications.</li> <li>2. Describe functions and applications of flight management systems.</li> <li>3. Classify current procedures of flight guidance.</li> </ol>				
<b>4</b>	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Grundlagen der Navigation I, Systemtheorie und Regelungstechnik empfohlen Fundamentals of Navigation I, Control Engineering suggested				

5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Mündliche Prüfung (in 3er-Gruppen) 60 min ~ 20 min / Person Oral exam (in a group with 3 students) 60 min ~ 20 min per participant
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft) WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik) Master Mechatronik
9	<b>Literatur / Literature</b> Vorlesungsskript verfügbar. Course notes available.



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Zukünftige Luftverkehrssysteme					
<b>Future Air Transportation Systems</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-23-3184	4 CP	120 h	97 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Dr.-Ing. Dipl.-Inform. J. Schiefele		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Zukünftige Luftverkehrssysteme. Vernetzung, Automation, Digitalisierung - Technologien für den Flugverkehr der Zukunft		Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Das Ziel der Vorlesung ist es, die Veränderungsfähigkeit von Gesamtsystemen durch technologische Innovation aufzuzeigen. Dies geschieht anhand zukünftiger technischer Entwicklungen im Bereich der Luftfahrt. Die Mechanismen werden anhand systemrelevanter technische, politische, und gesellschaftlicher Veränderungsmechanismen in der Luftfahrt erläutert. Es werden derzeitige technische Forschungsvorhaben der Luftverkehrsteilnehmer (Flugzeughersteller, Flughäfen, Airlines, Flugsicherung, Behörden) einzeln vorgestellt, bewertet, eingeordnet und die ihre wechselseitiger Beeinflussung für das Gesamtsystem diskutiert. Von besonderer Wichtigkeit sind hierbei die voranschreitende Digitalisierung, Vernetzung und Automation. Diese verändern radikal Prozesse, Funktionen, Verantwortlichkeiten und letztendlich Arbeitsplätze. Desweiteren wird in der Veranstaltung herausgearbeitet, in wie fern die wirtschaftliche, gesellschaftliche und technologische Entscheidungsfindung für die (Weiter-)Entwicklung komplexer technischer Systeme von der Luftfahrt auf andere Industrien transferiert werden können.</p> <p>The aim of the lecture is to show the ability of complete systems to change through technological innovation by means of future technical developments, using the example of aviation. The mechanisms are explained using system-relevant technical, political, and social change mechanisms in aviation. Current technical research projects of air traffic participants (aircraft manufacturers, airports, airlines, air traffic control, authorities) are presented, evaluated and classified individually and their mutual influence on the overall system is discussed. Of particular importance here are the advancing digitization, integration and automation. These radically change processes, functions, responsibilities and ultimately jobs. Furthermore, the event will work out to what extent economic, social and technological decision making for the (further) development of complex technical systems can be transferred from aviation to other industries.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zukünftige systemrelevante Entwicklungen der Luftfahrt zu beschreiben.</li> <li>2. Evolutionäre und revolutionäre Entwicklungsschritte in technischen Systemen darzustellen.</li> <li>3. Die Veränderung komplexer Luftverkehrssysteme durch technische und wirtschaftliche Innovation zu interpretieren und relevante Schnittstellen zu identifizieren.</li> <li>4. Schnittstellen zwischen Systemteilnehmern hinsichtlich ihrer Stabilität und Bedeutung zu klassifizieren.</li> </ol>				

	<p>5. Die Beeinflussung zukünftiger Forschung durch wirtschaftliche, gesellschaftliche und technologische Entwicklungen mittels Methoden wie bspw. die STEP/PESTLE Verfahren zu analysieren und darzustellen.</p> <p>6. Konzepte und Mechanismen die anhand des Luftfahrtsystems vermittelt wurden auf andere Industrien zu transferieren.</p> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe future system-relevant developments in aviation.</li> <li>2. Depict evolutionary development steps in technical systems.</li> <li>3. Interpret the change of Future Air Transportation Systems through technical and economic innovation and to identify relevant interfaces.</li> <li>4. Classify interfaces between system participants with regard to their stability and significance.</li> <li>5. Determine the extent to which economic, social and technological developments influence future research.</li> <li>6. Transfer concepts and mechanisms that have been taught by the aviation system to other industries.</li> </ol>
4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Klausur (60 min) oder mündliche Prüfung (20 min) / Written exam (60 min) or oral exam (20 min)</p> <p>Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)  WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)  Master Mechatronik  Master of Traffic and Transport</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Vorlesungspräsentationen verfügbar, Literatur:  Schmitt, Gollnick: Air Transport System, Springer 2015;  Hirst: The Air Transport System, Woodhead Publishing 2008;  Mensen: Handbuch der Luftfahrt, Springer 2013;  Scheiderer: Angewandte Flugleistung, Springer 2008</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Globale Satellitennavigationssysteme und Bahnbestimmung					
<b>Global Satellite Navigation Systems and Orbit Determination</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Credits</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-23-3204	4 CP	120 h	97 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
Level (EQF/DQR): 7			Prof. Dr.-Ing. W. Enderle		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Global Satellite Navigation Systems and Orbit Determination	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	Die Vorlesung behandelt ausgewählte Themen zu präzisen Anwendungen der Globalen Satellitennavigationssysteme am Beispiel der Europäischen Navigationssysteme EGNOS und Galileo:				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeitreferenz</li> <li>• Geodätische Referenz von Galileo</li> <li>• Architektur von Galileo und EGNOS</li> <li>• Signale</li> <li>• Navigations-Message</li> <li>• Beobachtungsgleichungen für Multi-GNSS</li> <li>• Algorithmen zur PVT Bestimmung basierend auf multi-GNSS Messungen</li> <li>• Precise Point Positioning</li> <li>• Hochgenaue Bahnbestimmung von Satelliten</li> </ul>				
	The lecture addresses selected topics of high-precision applications of global satellite navigation systems at the example of the European navigation systems EGNOS and Galileo:				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Time reference</li> <li>• Geodetic reference of Galileo</li> <li>• Galileo and EGNOS architectures</li> <li>• Signals</li> <li>• Navigation messages</li> <li>• Observation equations for multi-GNSS</li> <li>• Algorithms for PVT determination based on multi-GNSS measurements</li> <li>• Precise point positioning</li> <li>• High-precision orbit determination of satellites</li> </ul>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:				
	1. Den Aufbau der globalen Satellitennavigationssysteme, deren Anwendungsgebiete und ihrer Komponenten zu erklären.				

	<p>2. Die Zusammenhänge der GNSS mit den Anforderungen der Positionierung, der Navigation und der geowissenschaftlichen Disziplinen (z.B. Geodaetische Referenzsysteme, Zeitreferenz, Erdrotation, Gravitationspotential,...) zu erläutern.</p> <p>3. Die Leistungsfähigkeit und die Beiträge der GNSS zu beurteilen und Anwendungen zu konzipieren.</p> <p>4. Die Grundgleichungen der Satellitennavigation, der Bahnbestimmung und der Modellierung in Auswert- und Analysesoftware anzuwenden.</p> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <p>1. Explain the structure of global satellite navigation systems, their applications and components.</p> <p>2. Explain the relations between localisation requirements, navigation, and the geoscience disciplines (e.g. Geodetic reference systems, Time reference, Earth rotation, Gravitational potential etc.)</p> <p>3. Evaluate the performance and contributions of GNSS and to conceptualise GNSS applications.</p> <p>4. Apply the basic equations for satellite navigation, orbit determination and modelling in post-processing and analysis software.</p>
4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>
5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur von 60 Minuten Dauer / Written examination of 60 minutes duration
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Credit Points / Requirement for receiving credits</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft) WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)
9	<b>Literatur / Literature</b> Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, Wasle: GNSS - Global Navigation Satellite Systems. Springer-Verlag. 2008. Misra, Enge: Global Positioning System, Signals, Measurements and Performance. 2nd Edition. Ganga-Jamuna Press. 2006. Ley, Wittmann, Hallmann (Hrsg.): Handbuch der Raumfahrttechnik. 4. Aufl. 2011. Car kHanser-Verlag. Ggf. wird weitere Literatur während der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.

## Modulbeschreibung / Module Description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Hochtemperaturwerkstoff- und Bauteilverhalten II					
<b>High Temperature Materials Behaviour II</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-08-3284	4 CP	120 h	90 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Dr.-Ing. C. Kontermann		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	High Temperature Materials II	Vorlesung / Lecture	24 h (2 SWS)	
	-ue	High Temperature Materials II	Übung / Recitation	6 h (0,5 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p><b>A: Materialmodellierung:</b> 1: Grundlagen und Hintergründe zur zyklischen, ratenunabhängigen Plastizität: Verfestigung, Bauschinger-Effekt, Masing-Verhalten, Memory-Verhalten (Zyklische Plastizität); 2: Grundlagen zur Beschreibung temperaturinduzierten ratenabhängigen Plastizität bzw. Viskoplastizität (Kriechen); 3: Grundsätzlicher Aufbau und Kategorien von Materialmodellen innerhalb der strukturmechanischen Simulationslösung „Finite Elemente Methode“ (FEM); 4: Implementierung von zyklischer Plastizität und Kriechen innerhalb der FEM: Inkrementelle Theorie vs. Deformationstheorie; 5: Beispielhafte Anwendung innerhalb der FEM-Systeme ANSYS und ABAQUS</p> <p><b>B: Schädigung &amp; Lebensdauer:</b> 1: Einführung des Begriffs „Schädigung“ &amp; mikrostrukturelle Aspekte; 2: Grundlagen zum Einfluss von Mittelspannung, Mehrachsigkeit und zusammengesetzter Belastung; 3: Phänomenologische Beschreibung von Kriechermüdungsinteraktion; 4: Konstitutive, vereinheitlichte Material- und Schädigungsmodelle; 5: Beispielhafte Anwendung im Rahmen von Lebensdaueranalysen</p> <p><b>C: Numerische Bruchmechanik:</b> 1: Wiederholung bruchmechanischer Grundlagen; 2: Grundlagen zur Kriechbruchmechanik; 3: Grundlagen zum Riss-schließverhalten: Formen, analytische und numerische Beschreibungen; 4: Grundlagen zur numerischen Beschreibung von Rissen innerhalb der FEM in 2D und 3D; 5: Beispielhafte Anwendung im Rahmen von Schadensfallbewertungen</p> <p><b>A: Material modelling:</b> 1: Cyclic, rate-independent plasticity: hardening, Bauschinger-effect, Masing-behavior, Memory-behaviour (Cyclic Plasticity); 2: Description of temperature induced, rate-dependant plasticity resp. viscoplasticity (Creep); 3: General structure and categories of material models within the structural mechanic simulation approach „Finite Element Method“ (FEM); 4: Implementation of Cyclic Plasticity and Creep within the FEM: Incremental Theory vs. Deformation Theory; 5: Example application within the FEM-Software ANSYS and ABAQUS</p> <p><b>B: Damage &amp; Lifetime:</b> 1: Introduction of the term „Damage“ &amp; microstructural aspects; 2: Basics with regard to effects like: Mean stress, multiaxiality and superposed loading; 3: Phenomenological description of creep-fatigue interaction; 4: Constitutive, unified material- and damage models; 5: Example application „Lifetime Analysis of a component“</p> <p><b>C: Numerical Fracture Mechanics:</b> 1: Recap of Fracture Mechanic Fundamentals; 2: Creep Fracture Mechanics: Basics; 3: Description and Relevance of Crack Closure: forms, analytical and numerical approaches; 4: Numerical description of cracks within the FEM in 2D and 3D; 5: Example application „Assessment of a real component crack“ with ANSYS and ABAQUS</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:				

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relevante Aspekte des zyklischen Werkstoffverhaltens auszudrücken.</li> <li>2. Verschiedene Formen und Modellgleichungen zur Beschreibung von Kriechen zu erläutern.</li> <li>3. Die Implementierung von zyklischer Plastizität und Kriechen innerhalb der Anwendung der Finiten Elemente Methode durchzuführen und auf Basis der Inkrementellen Theorie der Plastizitätslehre zu erklären und zu bewerten.</li> <li>4. Aspekte der Werkstoffschädigung im Kontext der Mikrostruktur sowie von praxisrelevanten Beschreibungsansätzen zu erläutern.</li> <li>5. Einflussfaktoren auf die Lebensdauer von hochtemperaturbeanspruchten Komponenten zu beschreiben und phänomenologische und konstitutive Beschreibungsansätze zu erläutern.</li> <li>6. Das Verhalten von Rissen im Hochtemperaturbereich zu analysieren.</li> <li>7. Verschiedene Formen sowie Beschreibungsansätze zum Risschließverhalten zu erläutern.</li> <li>8. Numerische Beschreibungsansätze von Rissen unter Verwendung der Finiten Elemente Methode anzuwenden.</li> </ol> <p>After following this lecture the student will be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Express relevant aspects of a cyclic material behaviour</li> <li>2. Explain different forms and modelling approaches to describe the creep behaviour</li> <li>3. Explain and evaluate the implementation of cyclic plasticity and creep within the FEM on the basis of the incremental theory of plasticity</li> <li>4. Explain aspects of material damage based on the microstructure itself as well as based on component relevant description approaches</li> <li>5. Explain factors and their phenomenological and constitutive description approaches which have a lifetime impact on high temperature induced components</li> <li>6. Analyse the behaviour of crack within the high-temperature regime</li> <li>7. Explain different forms and description approaches of crack closure</li> <li>8. Apply numerical fracture mechanic approaches of cracks within the FEM</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>  Vorlesung High Temperature Materials I empfohlen  Recommended: the lecture "High Temperature Materials I"</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Mündliche Prüfung (30 min) oder Klausur (60 min) / Oral (30 min) or written exam (60 min)  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Credit Points / Requirement for receiving Credit Points</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programm</b>  WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)  WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Oechsner M., Kontermann C.: Umdruck zur Vorlesung (Foliensätze)</li> <li>○ Webster G.A., Ainsworth R.A. (1994): High Temperature Component Life Assessment, Chapman &amp; Hall</li> <li>○ Maier H.J., Niendorf T., Bürgel R. (2019) Handbuch Hochtemperatur-Werkstofftechnik. Springer Vieweg, Wiesbaden</li> <li>○ Rösler J., Harders H., Bäker, M. (2019) Mechanisches Verhalten der Werkstoffe, Springer-Verlag</li> <li>○ Lemaitre J., Chaboche J.-L. (2000): Mechanics of solid materials, Cambridge University Press</li> <li>○ Gross D., Seelig T. (2007): Bruchmechanik, Springer</li> </ul>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Hochgenaue Verfahren zur numerischen Strömungssimulation					
<b>High-Accuracy Methods for Computational Fluid Dynamics</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-64-3264	6 CP	180 h	135 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Dr.-Ing. F. Kummer		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	High-Accuracy Methods for Computational Fluid Dynamics	Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)	
	-ue	High-Accuracy Methods for Computational Fluid Dynamics	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Theorie: Motivation für Verfahren höherer Ordnung; stückweise Approximation durch Polynome; konservative Form von PDEs; Fluss-Formulierung, schwache Formulierung und Bilinearformen; numerische Flüsse; interior penalty für Probleme 2. Ordnung; Zeitdiskretisierung; Lösungsalgorithmen</p> <p>Rechnerübung: Implementierung von Lösern für mehrdimensionale skalare Probleme 1. und 2. Ordnung in einem gegebenen Framework; Experimentelle Untersuchung von Stabilität, Konvergenz, Konditionierung und Performanz</p> <p>Theory: Motivation for higher order methods; piecewise approximation by polynomials; conservative form of PDEs; flux formulation, weak form and bilinear forms; numerical fluxes; interior penalty for second order problems; time discretization; solution algorithms</p> <p>Computer lab: Implementation of solvers for multidimensional scalar problems of first and second order in an existing framework; Experimental examination of stability, convergence, conditioning and performance</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die grundlegenden theoretischen Eigenschaften der Discontinuous Galerkin (DG) Diskretisierung (Stabilität, Konsistenz und Konvergenz) zu erklären</li> <li>2. Die Anwendbarkeit und zu erwartende Effizienz von Verfahren höherer Ordnung für ein gegebenes Problem zu beurteilen</li> <li>3. Problemstellungen in Form von partiellen Differentialgleichungen in die diskrete Form zu überführen und einfache Lösungsalgorithmen effizient zu implementieren</li> <li>4. Numerische Simulationen auf Basis von DG durchzuführen, zu analysieren und zu bewerten</li> <li>5. Aktuelle Fachartikel über DG Methoden zu analysieren</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Explain fundamental properties (stability, consistency and convergence) of the Discontinuous Galerkin (DG) discretization</li> <li>2. Assess the applicability and the expectable efficiency of higher order methods for a given problem</li> <li>3. Derive the discrete form of problem statements and to implement basic solution algorithms efficiently</li> </ol>				

	<p>4. Conduct, analyze and evaluate numerical simulations based on DG</p> <p>5. Analyze current publications about DG methods</p>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b></p> <p>1) Grundkenntnisse über gewöhnliche und partielle Differentialgleichungen</p> <p>2) Vorlesung Numerische Berechnungsverfahren empfohlen</p> <p>3) Elementare Programmierkenntnisse (z.B. MATLAB, C/C++, Java, C#) für Übung empfohlen</p> <p>1) Basic knowledge of ordinary and partial differential equations</p> <p>2) Lecture Numerical Computation Methods recommended</p> <p>3) Elementary programming knowledge (e.g. MATLAB, C/C++, Java, C#) for exercise recommended</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b></p> <p>Mündliche Prüfung 30 min / Oral exam 30 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving credits</b></p> <p>Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b></p> <p>Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b></p> <p>WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)</p> <p>WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich</p> <p>WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p> <p>Master Computational Engineering</p> <p>Master Mechanik</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b></p> <p>Di Pietro, Ern: Mathematical aspects of discontinuous Galerkin methods. Springer, 2012</p> <p>Toro: Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics. Springer, 2009</p> <p>Vorlesungsskript und weiteres Lernmaterial wird auf <a href="https://moodle.tu-darmstadt.de">https://moodle.tu-darmstadt.de</a> bereitgestellt</p> <p>Lecture notes and additional study material will be made available at <a href="https://moodle.tu-darmstadt.de">https://moodle.tu-darmstadt.de</a></p>



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Ausgewählte Kapitel der Raumfahrtantriebe					
<b>Selected Topics of Space Propulsion</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Credits</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-04-4154	4 CP	120 h	97 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Dr.-Ing. M. Börner		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>		<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>
	-vl	Selected Topics of Space Propulsion		Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
<p>Der Kurs "Selected Topics of Space Propulsion" besteht aus Vorträgen von unterschiedlichen Experten, die sich mit verschiedenen wichtigen Aspekten der Raumfahrtantriebe befassen. Dazu zählen z.B. die Themen Turbopumpen, Zündungstechnologien, Lebenszyklusanalyse, Besonderheiten von Stufung und Trägerraketenstufen, Treibstoffe, Strukturmechanik, Verbrennung, Trägerraketen- und Missionsdesign und Architektur. Der Schwerpunkt der Veranstaltung liegt auf der Vermittlung dieser wichtigen fachlichen Inhalte und der Vermittlung der Vielfalt der involvierten Disziplinen und ihrer Zusammenarbeit, die für die erfolgreiche Entwicklung und den Betrieb von Raumtransportsystemen wichtig sind und zeigt somit die Pluridisziplinarität des Themenfeldes.</p> <p>Die Vorträge werden von Experten als Online-Präsentationen gehalten. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf den technischen Herausforderungen von Raumfahrtantrieben. Nach jedem Vortrag werden Fragen des Auditoriums mit den Referenten diskutiert. Durch die Gespräche mit Experten aus der Praxis lernen die Studierenden die aktuellen technischen Herausforderungen und Probleme kennen und erfahren wie diese in Industrie, Agenturen und Forschungseinrichtungen gelöst werden.</p> <p>Die Lehrveranstaltung soll als kollaborative Veranstaltung zusammen mit der Technischen Universität München (Prof. Manfletti) durchgeführt werden.</p> <p>The course "Selected Topics of Space Propulsion" consists of lectures by experts which present different important aspects of space propulsion technology such as turbo pumps, ignition technology, life cycle analysis, specifics of staging and stages, propellants, structural mechanics, combustion, launcher and mission design and architecture. A focus is put on the variety of disciplines and their interaction which are all important for successful space transportation systems and therefore demonstrates the multi-disciplinarily of this domain.</p> <p>The lectures will be hold by internal and external experts by online presentations. A focus will be on technical challenges of space propulsion applications. Specific questions may be discussed with the lecturers after each lecture. Through the talks to experts from the field, the students will get in contact with current technical issues and how these are handled in industry, agencies and research institutes.</p> <p>The course is planned as a collaborative event together with Technische Universität München (Prof. Manfletti).</p>					
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die in den Vorträgen formulierten, aktuellen Herausforderungen im Bereich der Raumfahrtantriebe darzustellen und in den Kontext der Zielsetzungen des Raumtransports zu setzen.</li> </ol>					

	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Die ingenieurwissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Methoden zur Lösung dieser technischen Aufgaben wiederzugeben und jeweils in Bezug auf finanziellen und zeitlichen Aufwand gegeneinander abzuwägen.</li> <li>3. Die sich durch unterschiedliche Problemlösungen ergebenden Zielkonflikte bei Auslegung und Betrieb von Raumfahrtantrieben zu identifizieren und zu bewerten.</li> <li>4. Die vermittelten Lösungsansätze auf technische Probleme für neue Raumfahrtantriebskonzepte zu transferieren.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Decript the current challenges in the field of space propulsion as formulated in the presentations and place these challenges in the context of the objectives of space transportation.</li> <li>2. State the engineering and scientific methods for solving these technical tasks and to weigh them against each other in terms of financial and time expenditure.</li> <li>3. Identify and evaluate the conflicts of objectives arising from different problem solutions in the design and operation of space propulsion systems.</li> <li>4. Transfer the solution approaches taught to technical problems for new space propulsion concepts.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme -/ Prerequisites for participation</b></p> <p>Empfohlen: Vorlesung “Raumfahrtantriebe und Raumtransportsysteme”. Grundlagen der Strömungslehre und Thermodynamik</p> <p>Recommended: Lecture “Rocket propulsion and space transportation systems”. Basics in fluid dynamics and thermodynamics</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b></p> <p>Klausur (60 min) oder mündliche Prüfung (30 min) / Written (60 min) or oral exam (30 min)</p> <p>Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Kreditpunkten / Requirement for receiving credits</b></p> <p>Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b></p> <p>Ziffernote / Number grades</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b></p> <p>WPB Master MPE III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)</p> <p>WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich</p> <p>WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b></p> <p>Vorlesungsunterlagen werden elektronisch (pdf) zur Verfügung gestellt.</p> <p>Lecture notes will be provided electronically (pdf)</p>
	<p>Modulbeschreibung angenommen mit FBR-Beschluss am 7. Juni 2022.</p> <p>Module description accepted from academic department on 7 June 2022.</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Raumfahrtrückstände – Risiken, Überwachung und Vermeidung					
<b>Space Debris – Risks, Surveillance and Mitigation</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-23-3164	4 CP	120 h	97 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Dr.-Ing. H. Krag		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Space Debris – Risks, Surveillance and Mitigation	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Die Vorlesung vermittelt die wissenschaftlich-technischen und betrieblichen Aspekte zu den Ursachen, Überwachung und Vermeidung von Raumfahrtrückständen. Sie umfasst die Berechnung von Risiken: Quell- und Senk-Therme, Partikelfluss-Modelle, Wiedereintritts-Aerodynamik/Aerothermik und entsprechende Risiko-Modelle; die Grundlagen der Weltraumüberwachung: Terrestrische Radar- und Teleskop-Anlagen, Bahnbestimmungsmethoden (Batch Least Square, Levenberg-Marquardt, Kalman Filter), Residuen, Kovarianzen, Kollisionsvermeidung im Betrieb; sowie auch die Vermeidung von Raumfahrtrückständen: Langzeit Modellprognosen, Internationale Richtlinien, Passivierungsmassnahmen, Schutz durch Abschirmung, Technologie zur Entsorgung und Verifizierung der Maßnahmen;</p> <p>This lecture will provide the scientific, technical and operational background in relation to the sources, surveillance and mitigation of space debris.</p> <p>This covers risk assessment aspects: source and sink terms, particle flux models, aerodynamics and aerothermal aspects during atmospheric re-entry and related on-ground risk assessments; all major aspects of space surveillance: ground-based radar and telescope systems, orbit determination methods (batch least square, Levenberg-Marquardt, Kalmanfilter), residuals, covariances, operational collision avoidance;</p> <p>As well as space debris mitigation aspects: long-term environment projection models, international guidelines, passivation methods, shielding concepts, methods for post mission disposal and verification of measures;</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Ursachen für Raumfahrtrückstände zu beschreiben und die Partikelumgebung sowie die Auswirkungen von Partikeleinschlägen zu bewerten</li> <li>2. Das Risiko für eine Raumfahrtmission durch die natürliche und vom Menschen erzeugte Partikelumgebung zu analysieren, zu quantifizieren und durch geeignete Maßnahmen zu begrenzen</li> <li>3. Das Risiko am Boden durch den atmosphärischen Wiedereintritt eines Raumfahrtobjektes zu berechnen</li> <li>4. Eine Raumfahrtmission nach den gültigen Richtlinien zur Vermeidung von Raumfahrtrückständen selbständig technisch auszulegen und nach internationalen Standards und Methoden zu verifizieren</li> </ol>				

	<p>5. Die mittels der Flugdynamik im Betrieb zu meisternden Aufgaben (Bahnbestimmung und Manöverplanung) nachzuvollziehen, und die betrieblichen Abläufe der Kollisionsvermeidung zu erklären.</p> <p>6. Die Grundlagen der Weltraumüberwachung darzustellen, entsprechende Sensor-Systeme auszulegen und die bezogenen rechnerischen Methoden anzuwenden;</p> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. name the sources of space debris and describe the human-made particle environment and the consequences of particle impacts;</li> <li>2. analyse and determine the risks to a space mission due the natural and human-made particle environment and limit this this risk by suitable technical measures;</li> <li>3. determine the on-ground risk caused by the atmospheric re-entry of a space object;</li> <li>4. lay-out a space mission according to applicable space debris mitigation guidelines and verify the resulting setup along with international standards;</li> <li>5. perform the main tasks of flight dynamics in operations (orbit determination and manoeuvre-planning) and explain the operational processes in the context of collision avoidance;</li> <li>6. Present the main technical aspects of space surveillance, lay-out the required sensor systems and apply the related computational methods;</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>          Kenntnisse aus “Raumfahrtmechanik” (Modul Nr. 16-25-5130) sind vorteilhaft, aber keine Voraussetzung / knowledge of the content of „Space Flight Mechanics” (module no. 16-25-5130) is an asset but not a pre-requisite.</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>          Mündliche Prüfung 20 min / Oral exam 20 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving credits</b>          Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>          Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>          WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)          WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich          WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik )</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>          Klinkrad: Space Debris – Models and Risk Analysis, Springer Springer Praxis Books Astronautical Engineering, 2006, ISBN 978-3-540-37674-3</p>

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Raumfahrtmechanik					
<b>Space Flight Mechanics</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-23-4234	6 CP	180 h	135 h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch /English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF / DQR):</b> 7			Dr.-Ing. F. Renk		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Space Flight Mechanics	Vorlesung / Lecture	34 h (3 SWS)	
	-ue	Space Flight Mechanics	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	Zentralbewegung, Zwei-Körper-Problem; Satellitenbahnen, Bahnelemente und ihre Störungen; Bahnwechselmanöver, interplanetare Missionen; Bemerkungen zum Drei-Körper-Problem; derzeitige Missionen im europäischen Raumfahrtprogramm und die dazugehörigen Bahnen.				
	Kepler's laws, two-body problem; satellite orbits and orbital elements, perturbation of the orbital elements; orbital transfer manoeuvres, interplanetary trajectories, the three-body problem and current missions and trajectory design problems of the European space program.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Flugbahn von Raumflugkörper mittels geometrischer Analyse, algebraischer und/oder numerischer Analyse zu beschreiben.</li> <li>2. Die grundlegenden himmelsmechanischen Gesetze zu erläutern, wie die Anwendbarkeit und Beschränkungen der Keplerschen Gesetze und die Methoden der Störungsrechnung.</li> <li>3. Kegelschnitten zur Abschätzung von interplanetaren Bahnen anzuwenden.</li> <li>4. Die Probleme und die Möglichkeiten des erdnahen und interplanetaren Raumflugs zu beschreiben.</li> <li>5. Die operationellen Einschränkungen zu verstehen und zu beschreiben, die die Auswahl der Flugbahnen beschränken könnten.</li> <li>6. Die besondere Terminologie und Einheitensystematik der Raumfahrtmechanik zu benennen und zu verwenden.</li> <li>7. Die aktuelle Projekte und Schwierigkeiten der Himmelsmechanik, insbesondere bei der Arbeit der europäischen Raumfahrtagentur, zu benennen.</li> </ol>				
	On successful completion of this module, students should be able to:				
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describe the orbit of spacecraft by means of geometric analysis, algebraic, and eventually numeric analysis.</li> <li>2. Explain the basic laws of celestial mechanics such as the applicability and constraints of Keplerian elements and the methods to calculate perputation.</li> <li>3. Use the principle of the patched conics approach for trajectory design.</li> <li>4. Describe the challenges and capabilities of planetary and inter-planetary space flight.</li> <li>5. Understand and apply the operational constraints that can affect the trajectory design.</li> <li>6. Name and apply the special nomenclature and system of units that appear in celestial mechanics.</li> </ol>				

	7. Name recent and older project and missions of space flight, especially with respect to the European space program.
4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b> Erfolgreiche Teilnahme an der Vorlesung/Prüfung „Grundlagen der Raumfahrtsysteme“ empfohlen Recommended Successful participation in the course/examination „Foundations of Space Stations“
5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Schriftliche Endklausur (90 min.) oder mündliche Prüfung 20 min. Written final exam (90 min) or oral exam 20 min.  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung; Standard (Ziffernote) / Technical Examination; Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)  WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)  Mechatronik
9	<b>Literatur / Literature</b> Skriptum, erhältlich in der ersten Vorlesungsstunde  Course reader, available in the first lecture
	Geänderte Modulbeschreibung angenommen mit FBR-Beschluss am 11. Juli 2023. Changed module description accepted from academic department on 11 July 2023.

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
Raumfahrtantriebe und Raumfahrttransportssysteme					
<b>Space Propulsion and Space Transportation Systems</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-04-3114	4 CP	120 h	97 h	1 Semester	SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Dr.-Ing. M. Börner		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Space Propulsion and Space Transportation Systems	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
<p>Orbitale und interplanetare Raumfahrttransportaktivitäten. Technische Anforderungen. Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Bahnparametern und delta-v Anforderungen. Gleichungen für die Dimensionierung von Raumtransportsystemen. Funktionsprinzipien, Komponenten und Berechnung der unterschiedlichen Raumfahrtantriebe. Antriebszyklen von chemische Flüssigtreibstoff-Raketen. Aktuelle Entwicklungen und Zielkonflikte in der Entwicklung von zukünftigen Raumtransportsystemen und Raumfahrtantrieben.</p> <p>Space transportation activities in the segments earth-to-orbit, in-orbit and interplanetary. Main technical requirements. Computational methods to determine the main orbital parameters and delta-v requirements. Main equations to size space transportation systems; functional principle, components and equations of space propulsion systems; chemical liquid propellant rocket engine cycles; technical impacts of modern developments and possible conflicts arising during the decision making process and during the development of space propulsion and transportation systems.</p>					
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die verschiedenen Segmente des Raumtransports zu unterscheiden und die dazu gehörigen Anforderungen zu erläutern.</li> <li>2. Bahnparametern und notwendigen delta-v zu berechnen.</li> <li>3. Die weltweit genutzten technischen sowie die historischen und aktuellen Umsetzungen zu benennen.</li> <li>4. Die Berechnungsmethoden für die Dimensionierung von Raumtransportsystemen anzuwenden.</li> <li>5. Die unterschiedlichen Raumfahrtantriebsarten zu benennen, ihre Funktionsprinzipien zu beschreiben und ihre Hauptleistungsparameter zu berechnen.</li> <li>6. Die unterschiedlichen Triebwerkszyklen zu benennen und zu skizzieren.</li> <li>7. Die vorteilhaftesten Zyklen zu einer vorgegebenen Anwendung auszuwählen.</li> <li>8. Triebwerkskomponenten zu benennen, deren Funktionsprinzipien zu beschreiben und deren Eckdaten für eine Auslegung zu berechnen.</li> <li>9. Die technischen Auswirkungen aktueller Entwicklungen bei Raumfahrtantrieben und Raumfahrttransportsystemen zu diskutieren.</li> </ol> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p>					

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Distinguish the various the segments for space transportation activities and the main technical requirements associated with each segment.</li> <li>2. Perform computations of the main orbital parameters and required delta-v.</li> <li>3. Name implemented past and present technical solutions worldwide.</li> <li>4. Apply the computational methods required to size space transportation systems.</li> <li>5. Name the various space propulsion systems and describe their main functioning principles and compute their main performance parameters.</li> <li>6. Distinguish and outline the main chemical propulsion engine cycles.</li> <li>7. Select the most advantageous cycle depending on the specific application.</li> <li>8. Name rocket engine components, describe their functioning principles and to determine their key parameters for design.</li> <li>9. Discuss technical impacts of modern developments of space propulsion and transportation systems.</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme -/ Prerequisites for participation</b>  Grundlagen der Strömungslehre und Thermodynamik  Basics in fluid dynamics and thermodynamics</p>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b>  Klausur (60 min) oder mündliche Prüfung (30 min) / Written (60 min) or oral exam (30 min)  Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Kreditpunkten / Requirement for receiving credits</b>  Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b>  Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b>  WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)  Master AE III Nat_Ing-Bereich  WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b>  Vorlesungsunterlagen werden elektronisch (pdf) zur Verfügung gestellt.  Lecture notes will be provided electronically (pdf)</p>
	<p>Geänderte Modulbeschreibung angenommen mit FBR-Beschluss am 8. Februar 2022.  Changed module description accepted from academic department on 8 February 2022.</p>



## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b> Systemische Betrachtung des Luftverkehrs					
<b>Systemic Evaluation of Air Traffic</b>					
<b>Modul Nr. / Code</b> 16-23-3144	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b> 4 CP	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b> 120 h	<b>Selbststudium / Individual study</b> 97 h	<b>Moduldauer / Duration</b> 1 Semester	<b>Angebotsturnus / Semester</b> SoSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English <b>Level (EQF / DQR):</b> 7			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b> Dr.-Ing. Dipl.-Inform. J. Schiefele		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Systemic Evaluation of Air Traffic	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b> Die Vorlesung hat das Ziel, Master Level Studenten ein vollständiges Verständnis über das heutige globale Luftverkehrssystem zu vermitteln. Dazu werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen und dessen relevanten Teilnehmer (Flughafen, Airline, Flugsicherung, Passagiere) herausgearbeitet sowie Interaktionen zwischen den Teilnehmern und Interessensüberschneidungen dargelegt. Im Fokus stehen die technische Ausstattung, die operationellen/betrieblichen Abläufe und damit einhergehenden Herausforderungen wie Kapazitätsengpässe, Lärmemissionen oder die wirtschaftliche Lage. Der aktuelle Stand der Forschung (NextGen, SESAR) wird vorgestellt. Eine Vertiefung der Inhalte der Vorlesung findet mit Hilfe von Simulationen und industrierelevanten Beispielen statt.  The objective of the lecture is to convey a full understanding of the contemporary global air transportation system. The legal framework and relevant stakeholders (airports, airlines, air traffic management and passengers) are analyzed and interactions as well as areas of overlapping interests are underlined. The focus is on the equipment, the operational processes and the corresponding challenges like capacity bottlenecks, noise emission and the economic situation. The current state of research (NextGen, SESAR) is presented. Simulations and case studies are used to consolidate the content of the lectures.				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>  Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Die Systemteilnehmer, deren Aufgaben und deren Prozesse zu beschreiben.</li><li>2. Das Gesamtsystem und die Schnittstellen zwischen den Teilnehmern herzuleiten.</li><li>3. Die systemischen Abhängigkeiten der Systemteilnehmer untereinander einzuordnen.</li><li>4. Die heutigen Herausforderungen einzuordnen, Stärken und Schwächen des Systems zu beurteilen und Ansätze zu dessen Weiterentwicklung aufzuzeigen.</li><li>5. Die Handlungsoptionen aus dem Stand der Forschung auf zukünftige Probleme zu übertragen.</li></ol> On successful completion of this module, students should be able to: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Describe the systems' stakeholder and their tasks and processes.</li><li>2. Derive the overall system and its' interfaces.</li><li>3. Classify the systemic dependencies of the stakeholders among each other.</li><li>4. Classify the contemporary challenges, assess strengths and weaknesses of the system and illustrate approaches to its feature development.</li><li>5. Transfer the course of action of current reserach to future challenges.</li></ol>				

4	<b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b>
5	<b>Prüfungsform / Assessment methods</b> Klausur (60 min) oder mündliche Prüfung (20 min) / Written (60 min) or oral exam (20 min) Wird zu Beginn der Veranstaltung abhängig von den Umständen (Anzahl der Studierenden, Pandemie etc.) bekanntgegeben / Will be announced at the beginning of the term depending on the circumstances (number of students, pandemic etc.).
6	<b>Voraussetzung für die Vergabe von Leistungspunkten / Requirement for receiving Credit Points</b> Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.
7	<b>Benotung / Grading system</b> Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)
8	<b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b> WPB Master MB III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft) WPB Master AE III Nat_Ing-Bereich WPB Master PST III (Fächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft für Papiertechnik) Master Mechatronik Master of Traffic and Transport
9	<b>Literatur / Literature</b> Vorlesungspräsentationen verfügbar. Course notes available. Literatur / Textbooks: Schmitt, Gollnick: Air Transport System, Springer 2015; Hirst: The Air Transport System, Woodhead Publishing 2008; Mensen: Handbuch der Luftfahrt, Springer 2013; Scheiderer: Angewandte Flugleistung, Springer 2008

## Modulbeschreibung / Module description

<b>Modulname / Module Title</b>					
<b>Uncertainty Quantification: Methods, Applications, Challenges</b>					
Quantifizierung von Unsicherheit: Methoden, Anwendungen, Herausforderungen					
<b>Modul Nr. / Code</b>	<b>Leistungspunkte / Credit Points</b>	<b>Arbeitsaufwand / Work load</b>	<b>Selbststudium / Individual study</b>	<b>Moduldauer / Duration</b>	<b>Angebotsturnus / Semester</b>
16-26-4224	4 CP	120 h	86h	1 Semester	WiSe
<b>Sprache / Language:</b> Englisch / English			<b>Modulverantwortliche/r / Module Co-ordinator</b>		
<b>Level (EQF/DQR):</b> 7			Dr.-Ing. R. Feldmann		
<b>1</b>	<b>Kurse des Moduls / Courses</b>				
	<b>Kurs Nr. / Code</b>	<b>Kursname / Course Title</b>	<b>Lehrform / Form of teaching</b>	<b>Kontaktzeit / Contact hours</b>	
	-vl	Uncertainty Quantification: Methods, Applications, Challenges	Vorlesung / Lecture	23 h (2 SWS)	
	-ue	Uncertainty Quantification: Methods, Applications, Challenges	Übung / Recitation	11 h (1 SWS)	
<b>2</b>	<b>Lehrinhalt / Syllabus</b>				
	<p>Im modernen Produktentwicklungsprozess gerät die vorherrschende Unsicherheit immer mehr in den Blickpunkt. Häufig können für Modellparameter, wie z.B. Reibungs- und Dämpfungsparameter, oft keine Einzahlwerte, sondern lediglich Intervalle bzw. Verteilungen angegeben werden. Um die Vorhersagegenauigkeit von Modellen zu erhöhen, ist es daher wichtig, die Unsicherheit zu quantifizieren und zu verringern. Die dadurch erhöhte Vorhersagefähigkeit der Modelle trägt dazu bei, Produkte entwickeln zu können, deren Belastbarkeit besser auf die Belastung abgestimmt sind und hierdurch ressourceneffizienter gestaltet werden können. In dieser Lehrveranstaltung werden den Studierenden die grundlegenden Methoden vermittelt, um die Unsicherheit in realen technischen Systemen zu beschreiben, quantifizieren und zu bewerten.</p> <p>In the modern product development process, the prevailing uncertainty is increasingly coming into focus. In many cases, it is not possible to specify single number values for model parameters, such as friction and damping parameters, but only intervals or distributions. To increase the predictive accuracy of models, it is therefore important to quantify and reduce uncertainty. The resulting improvement in the predictive ability of models contributes to the development of products whose load capacity is better adapted to the load and can thus be designed in a more resource-efficient way. In this course, students are taught the basic methods to describe, quantify, and evaluate uncertainty in real engineering systems.</p>				
<b>3</b>	<b>Lernergebnisse / Learning Outcomes</b>				
	<p>Nachdem die Studierenden die Lerneinheit erfolgreich abgeschlossen haben, sollten sie in der Lage sein:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die verschiedenen Typen von Unsicherheit an realen technischen Systemen zu erkennen und selbstständig eine Vorgehensweise zu deren Quantifizierung und Bewertung zu entwickeln.</li> <li>2. Eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen, um die wichtigsten Parameter eines Modells mit Hilfe von Methoden wie Sobol-Indizes und Morris-Screening zu ermitteln.</li> <li>3. Die Unsicherheit von Modellen mithilfe von Markov-Chain-Monte-Carlo-Methoden zu quantifizieren und die Ergebnisse zu interpretieren.</li> <li>4. Die quantifizierte Unsicherheit durch ein Modell (Monte-Carlo Simulation und Stochastische Spektrale Methoden) zu betrachten.</li> <li>5. Schnelle Ersatzmodelle von komplexen rechenintensiven Modellen zu bilden, um auch diese einer Unsicherheitsquantifizierung zugänglich zu machen. Behandelt werden Methoden wie</li> </ol>				

	<p>Gaussprozess-Regression (GPR), Support-Vector-Machines (SVM), Polynomial Chaos Expansion (PCE).</p> <p>6. Die Ausfallwahrscheinlichkeit eines Systems anhand der quantifizierten Unsicherheit zu bewerten mithilfe der subset simulation.</p> <p>On successful completion of this module, students should be able to:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recognize the different types of uncertainty in real technical systems and independently develop an approach to quantify and evaluate them</li> <li>2. Perform a sensitivity analysis to identify the most important parameters of a model using methods such as Sobol Indices, Morris Screening</li> <li>3. Quantify the uncertainty of models using Markov chain Monte Carlo methods and interpret the results</li> <li>4. Consider the quantified uncertainty through a model (Monte-Carlo-Simulation and Stochastic Spectral Methods)</li> <li>5. Build fast surrogate models of complex computationally intensive models to make them also amenable to uncertainty quantification using Gaussian Process Regression (GPR), Support-Vector-Machine (SVM), Polynomial Chaos Expansion (PCE)</li> <li>6. Evaluate the failure probabilities of a system based on the quantified uncertainty using subset simulation</li> </ol>
4	<p><b>Voraussetzung für die Teilnahme / Prerequisites for participation</b></p> <p>Empfohlen / Recommended:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mathematische Grundlagen des Maschinellen Lernens / Mathematics of Machine Learning</li> </ul>
5	<p><b>Prüfungsform / Assessment methods</b></p> <p>Mündliche Prüfung 30 min / Oral exam 30 min.</p>
6	<p><b>Voraussetzung für die Vergabe von Credit Points / Requirement for receiving credits</b></p> <p>Bestehen der Prüfungsleistung / Passing the examination.</p>
7	<p><b>Benotung / Grading system</b></p> <p>Fachprüfung (100%); Standard (Ziffernote) / Technical Examination (100%); Standard (Number grades)</p>
8	<p><b>Verwendbarkeit des Moduls / Associated study programme</b></p> <p>WPB Master MPE III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)</p> <p>WPB Master AE III (Wahlfächer aus Natur- und Ingenieurwissenschaft)</p>
9	<p><b>Literatur / Literature</b></p> <p>[1] Smith, Ralph C. (2014): Uncertainty quantification. Theory, implementation, and applications. Philadelphia: siam Society for Industrial and Applied Mathematics (Computational science &amp; engineering, 12).</p> <p>[2] Pelz, Peter F.; Groche, Peter; Pfetsch, Marc E.; Schaeffner, Maximilian (Hg.) (2021): Mastering Uncertainty in Mechanical Engineering. 1st ed. 2021. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer (Springer Tracts in Mechanical Engineering).</p>
	<p>Modulbeschreibung angenommen mit FBR-Beschluss am 11. Juli 2023.</p> <p>Module description accepted from academic department on 11 July 2023.</p>