



# Modulhandbuch

**Masterstudiengang Maschinenbau  
(Mechanical Engineering)  
MBM**

Stand:29.10.2020

gültig im Wintersemester 2020/21

Im Wintersemester 2020/21 sind von der SPO abweichende Prüfungsformen zulässig.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
1. Qualifikationsprofil Master Maschinenbau .....	3
Lernziele .....	3
Module .....	3
2. Beschreibung der Pflichtmodule .....	4
TBM 1.1a    Höhere Mathematik und Grundlagen der Numerik .....	4
TBM 1.2a    Management von Unternehmen, Projekten und Wissen .....	6
MBM 3      Masterarbeit .....	8
3. Beschreibung der Wahlpflichtmodule .....	9
MBM 2.1    Höhere methodische rechnergestützte Produktentwicklung .....	9
MBM 2.2    Daten-, Informations- und Risikomanagement .....	11
MBM 2.3    Antriebstechnik .....	13
MBM 2.4    Hochleistungswerkstoffe .....	14
MBM 2.5    Wärme- und Stoffübertragung .....	15
MBM 2.6    Produktionsautomatisierung und Robotik .....	16
MBM 2.7    Fertigungstechnik für Hochleistungspolymere .....	17
MBM 2.8    Projektarbeit .....	19
FAM 2.6    Intelligente Messsysteme und Computersehen .....	21
FEM 1.6    Sensoren und Aktoren .....	23
FEM 1.7    Modellbildung und Regelung .....	26
FEM 1.9    Mehrkörpersysteme .....	28
TBM 1.4    Strukturanalyse .....	30
TBM 1.5    Fatigue & Fracture (Ermüdungsfestigkeit) .....	32
TBM 2.3    Faserverbundstrukturen .....	36
TBM 2.4    Strukturdynamik .....	37
TBM 2.5    Numerische Strömungsmechanik CFD .....	39

# 1. Qualifikationsprofil Master Maschinenbau

## Lernziele

Das Studium ermöglicht besonders qualifizierten Studierenden, die bereits ein Hochschulstudium abgeschlossen haben, eine konsekutive Weiterentwicklung ihrer Qualifikation und den Erwerb eines weiteren international kompatiblen Abschlussgrades. Die Studierenden erwerben auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und Methoden beruhende Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen, die sie für eine Tätigkeit als Fachspezialist oder Führungskraft im Bereich des Maschinenbaus oder auch für eine wissenschaftliche Weiterqualifizierung im Rahmen einer Promotion befähigen.

Neben fundierten einschlägigen Kenntnissen wird insbesondere Wert gelegt auf analytisches Denken und die Kompetenz, mathematische Modelle zu entwickeln. Die Studierenden erwerben die Fertigkeit, numerische Simulationen durchzuführen und können die Ergebnisse korrekt interpretieren, die Grenzen der zugrunde liegenden mathematischen Modelle bewerten sowie das Systemverhalten auf der Basis der mathematischen Gleichungen qualitativ beurteilen.

Neben diesen fachlichen Kenntnissen, Fertigkeiten und Kompetenzen werden auch soziale Kompetenzen wie Teamkompetenz und Führungskompetenz vermittelt.

## Module

Die Module unterteilen sich in Pflichtmodule, Wahlpflichtmodule und die Masterarbeit.

In den **Pflichtmodulen** werden die Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen vermittelt, die zum Kernprofil des Studiengangs gehören und die daher alle Studierenden erwerben müssen.

Das Pflichtmodul **Höhere Mathematik und Grundlagen der Numerik** ist Bestandteil aller Masterstudiengänge der Fakultät. Es vermittelt die Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen, die benötigt werden, um mathematische Modelle zu erstellen, Simulationen durchzuführen und die Ergebnisse korrekt zu interpretieren.

Das Pflichtmodul **Management von Unternehmen, Projekten und Wissen** ist ebenfalls Bestandteil aller Masterstudiengänge der Fakultät. In diesem Modul lernen die Studierenden Methoden der Unternehmensführung kennen und erwerben die Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen, die für eine erfolgreiche Leitung von Projekten erforderlich sind.

In den **Wahlpflichtmodulen** erwerben die Studierenden weitere Kenntnisse, Fertigkeiten und Kompetenzen in verschiedenen methodischen Disziplinen bzw. in unterschiedlichen Anwendungsbereichen des Maschinenbaus.

Insgesamt müssen acht Wahlpflichtmodule gewählt werden. Das Angebot im Studiengang Maschinenbau umfasst siebzehn Wahlpflichtmodule. Bezüglich der Auswahl der Wahlpflichtmodule aus diesem Kontingent von siebzehn Modulen bestehen keine einschränkenden Bedingungen. Von den acht zu wählenden Wahlpflichtmodulen können nach Absprache mit dem/der Prüfungskommissionsvorsitzenden auch zwei Module aus anderen Masterstudiengängen der Fakultät, der Hochschule München oder einer ausländischen Partneruniversität gewählt werden.

## 2. Beschreibung der Pflichtmodule

### TBM 1.1a Höhere Mathematik und Grundlagen der Numerik

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Höhere Mathematik und Grundlagen der Numerik</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Advanced Mathematics and Basics of Numerical Analysis
<i>Fachgruppe</i>	Mathematik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>TBM 1.1a</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr. Michael Wibmer
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Pflichtmodul für TBM, FAM, FEM, LRM, MBM (WiSe/SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	SU: 6 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 65 Std./145 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	7 ECTS
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	Mathematik des Bachelors (z.B. Ingenieurmathematik I,II)
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schärfung analytischer Denkweisen</li> <li>• Erwerb fortgeschrittener Kenntnisse von mathematischen Begriffen und Methoden, welche für die Behandlung von wissenschaftlichen und fortgeschrittenen Anwendungen aus den Themen der Masterstudiengänge notwendig sind.</li> <li>• Die Studierenden erlangen die Fähigkeiten um ausgewählte physikalisch-technischer Vorgänge zu modellieren und können mathematischer Methoden zur Diskussion der Eigenschaften dieser Modelle anwenden.</li> <li>• Verständnis der Grundlagen numerische Begriffe und Methoden und Fähigkeit zur Anwendung numerischer Methoden auf Anwendungsbeispiele</li> <li>• Die Studierenden erarbeiten sich die Fähigkeit, technische Zusammenhänge in mathematischer Sprache zu formulieren und deren Resultate kritisch zu beurteilen</li> <li>• Die Studierenden lernen die grundlegenden Kenntnisse aus dem Bereich Numerischer Mathematik um die Ergebnisse von numerischen Lösungsverfahren kritisch zu beurteilen zu können (z.Bsp. die Resultate von kommerziellen Softwarepaketen zur numerischen Lösung mechanischer Probleme)</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lineare und nichtlineare Systeme von gewöhnliche Differenzialgleichungen (Lösungsschema, Eigenwerttheorie, Stabilität, Linearisierung dynamischer Systeme).</li> <li>2. Rand- und Eigenwertaufgaben.</li> <li>3. Fourierreihen und Fouriertransformation (Eigenschaften, Anwendungen, Beispiele, Gibb'sches Phänomen, Abtasttheorem von Shannon).</li> <li>4. Laplacetransformation (Eigenstudium).</li> <li>5. Integralsätze (z.B. Sätze von Gauß, Green und Stokes)</li> <li>6. Partielle Differenzialgleichung (Struktur Charakteristiken,</li> </ol>

	<p>Typen: elliptische, hyperbolische, parabolische, Lösungsverfahren)</p> <p>7. Grundlagen der numerischen Mathematik</p> <p>8. Einführung in statistische Methoden</p>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arendt, Urban, Partielle Differentialgleichungen, Springer Spektrum (2010);</li> <li>• Graf Finck von Finckenstein, Lehn, Schnellhaas, Wegmann, Arbeitsbuch Mathematik für Ingenieure, Band II: Differentialgleichungen, Funktionentheorie, Numerik und Statistik, Teubner (2006)</li> <li>• Bärwolff, Numerik für Ingenieure, Physiker und Informatiker, Springer Spektrum (2015);</li> <li>• Munz, Westermann, Numerische Behandlung gewöhnlicher und partieller Differentialgleichungen, Springer Verlag 3. Aufl. (2012);</li> <li>• Burg, Haf, Wille, Partielle Differentialgleichungen (2004);</li> <li>• Quarteroni, Sacco, Saleri, Numerische Mathematik 1 und 2, Springer Verlag</li> <li>• Scholz, Numerik Interaktiv, Springer Spektrum (2016)</li> <li>• Meyberg, Vachenaer, Höhere Mathematik 1 und 2, Springer Verlag, 6. Aufl. (2003) und 4. Aufl. (2005)</li> <li>• Skripte zu den Bachelorvorlesungen „Ingenieurmathematik I und II“</li> </ul>
<i>Kommentar</i>	Es wird empfohlen, die Vorlesung „Numerische Methoden“ begleitend zu besuchen
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:michael.wibmer@hm.edu">michael.wibmer@hm.edu</a>
<i>Verwendete Software</i>	MATLAB, OpenSource Plattformen

TBM 1.2a Management von Unternehmen, Projekten und Wissen

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Management von Unternehmen, Projekten und Wissen</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Management of Business, Projects and Knowledge
<i>Fachgruppe</i>	BWL
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>TBM 1.2a</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr. Julia Eiche
<i>Weitere Dozenten</i>	Dr. Barbara Fischer, LbA
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Pflichtmodul TBM, FAM, FEM, LRM, MBM (WiSe/SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	SU: 4 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./105 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	5 ECTS
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	Grundlagen Betriebswirtschaftslehre
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<p>Die Studierenden erhalten Einblick in die Dimensionen erfolgreicher Unternehmensführung, lernen Methoden strategischer Unternehmensführung kennen sowie die Herausforderungen des Führens internationaler und interkultureller Teams. Die Studierenden lösen Fallstudien, erarbeiten und verfolgen einschlägige Markt- und Unternehmensentwicklungen. Sie erhalten Einblick in konkrete Herausforderungen in der Führung eines Unternehmens im Rahmen eines komplexen, computergestützten Planspiels.</p> <p>Die Studierenden erlernen die Methoden erfolgreichen Projektmanagements. Sie erhalten Einblick in die Bedeutung und die Herausforderungen von Wissensmanagements in modernen Unternehmen (wie z.B. neue Potenziale durch wissensbasierte Systeme).</p>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unternehmensführung (Grundlagen, Instrumente strategisches Management, internationales Management, Kostenmanagement &amp; Controlling, Personalführung, innovative Geschäftsmodelle etc.)</li> <li>- Projektmanagement (Methoden, Instrumente und Ebenen des Projektmanagements; Projektphasen, klassischer und agiler Ansatz)</li> <li>- Wissensmanagement (Methoden, Instrumente und Ebenen des Wissensmanagements)</li> <li>- Planspiel Unternehmensführung: In der Rolle der Geschäftsführung treffen die Teilnehmer strategische und operative Entscheidungen in verschiedenen Unternehmensbereichen.</li> <li>- Branchenrelevante Praxisbeispiele und aktuelle Entwicklungen (wie z.B. Digitalisierung der Industrie)</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	Wird in der Veranstaltung bekannt gegeben

<i>Kommentar</i>	
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:julia.eiche@hm.edu">julia.eiche@hm.edu</a>

## MBM 3 Masterarbeit

<i>Modulgruppe</i>	<b>Masterarbeit</b>
<i>Modulbezeichnung</i>	Master's Thesis
<i>Kürzel</i>	<b>MBM 3</b>
<i>Modulverantwortliche(r)</i>	Prof. Dr.-Ing. J. Middendorf
<i>Sprache</i>	Deutsch/Englisch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Pflichtmodul MBM (WiSe/SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung / SWS</i>	Selbstständige Arbeit
<i>Arbeitsaufwand</i>	900 Stunden für Bearbeitung, Dokumentation und Präsentation
<i>Kreditpunkte</i>	30 ECTS
<i>Voraussetzungen nach Prüfungsordnung</i>	Die Masterarbeit kann frühestens zu Beginn des 2. Semesters ausgegeben werden und erfordert den Nachweis von 24 ECTS aus den Pflichtmodulen. Siehe hierzu Studien- und Prüfungsordnung SPO.
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	
<i>Notwendige Voraussetzungen</i>	Die Bewilligung des Themas durch den Prüfungsausschuss des Studiengangs ist vor Beginn der Arbeit einzuholen.
<i>Lernziele / Kompetenzen</i>	<p>In diesem Modul wird die Befähigung zu selbständiger Bearbeitung einer anspruchsvollen Aufgabenstellung mit wissenschaftlichen Methoden nachgewiesen. Dabei werden die in den anderen Modulen erworbenen Kenntnisse und Fähigkeiten eingesetzt, verknüpft und punktuell vertieft.</p> <p>Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden die im Studium erworbenen Kenntnisse, Fähigkeiten und wissenschaftlichen Methoden an</li> <li>• eignen sich weitere, vertiefende Kenntnisse und Fähigkeiten auf dem Gebiet der Aufgabenstellung an</li> <li>• können wissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden weiterentwickeln</li> <li>• sind in der Lage, eine wissenschaftliche Aufgabenstellung selbständig zu bearbeiten, Lösungen zu finden und zu bewerten, die Arbeit zu dokumentieren und zu präsentieren</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbständige Bearbeitung einer anspruchsvollen, fachbezogenen Aufgabenstellung mit wissenschaftlichen Methoden</li> <li>• Planung und Durchführung der Teilaufgaben im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsprozessen</li> <li>• Kritische Bewertung der Ergebnisse</li> <li>• Erstellung der schriftlichen Arbeit und der Präsentation</li> </ul>
<i>Studien-/ Prüfungsleistungen</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan

### 3. Beschreibung der Wahlpflichtmodule

#### MBM 2.1 Höhere methodische rechnergestützte Produktentwicklung

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Höhere methodische und rechnerunterstützte Produktentwicklung</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Enhanced Methods of Product Development and Computer Aided Product Development
<i>Fachgruppe</i>	Produktentwicklung/CAx
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.1</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. Winfried Zanker
<i>weitere Dozenten</i>	Prof. Dr.-Ing. Markus v. Schwerin, Prof. Dr.-Ing. Carsten Tille
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht: 2SWS, Praktikum: 2 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Grundlegende Kenntnisse der Methoden der Produktentwicklung, Grundlegende Kenntnisse der Methoden der Rechnergestützten Produktentwicklung
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<p>Die Studierenden sind in der Lage, Produkte zu gestalten und zu optimieren, indem sie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vorhandene Produkte als Systeme erfassen und hinsichtlich relevanter Optimierungskriterien (z. B. Festigkeit/Steifigkeit, Gewicht, Fertigung/Montage, Qualität, Kosten) analysieren können,</li> <li>• systematische Vorgehensweisen in der Produktentwicklung kennen und anwenden können,</li> <li>• die prinzipielle Struktur und Wirksamkeit von ausgewählten Methoden/rechnergestützten Methoden verstehen,</li> <li>• Ausgewählte Methoden/rechnergestützte Methoden für Gestaltungs- und Optimierungsaufgaben bzgl. Prozess und Produkt kennen, zielgerichtet auswählen, an die gegebenen Randbedingungen situativ anpassen, flexibel anwenden und optimieren können,</li> <li>• Arbeitsmethoden kennen, zielgerichtet auswählen, ggfs. anpassen und zur Optimierung der Produktentwicklung anwenden können,</li> <li>• Methoden zur Darstellung von Arbeitsergebnisse kennen, auswählen und anwenden können.</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methoden/rechnergestützte Methoden der Systemanalyse (z. B. Funktionsanalyse, Strukturanalyse)</li> <li>• Vorgehensmodelle für Entwicklungs- und Optimierungsaufgaben aus Wissenschaft und Praxis</li> <li>• Ausgewählte Methoden/rechnergestützte Methoden für Gestaltungs- und Optimierungsaufgaben im Entwicklungsprozess (z. B. „Münchner Vorgehensmodell“, Zielkonflikt-, Lösungsfindungs-, Eigenschaftsanalyse- und Bewertungsmethoden, Methoden zur Optimierung der</li> </ul>

	<p>Prozessketten „Gestaltung - Strukturberechnung“ und „CAD - Generative Fertigung“, Methoden des Kostenmanagements)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfahren zur intelligenten Auswahl, Anpassung und flexiblen Anwendung von Methoden/rechnergestützten Methoden bzgl. Prozess-/Produktgestaltung und -optimierung</li> <li>• Ausgewählte Arbeitsmethoden für Tätigkeiten in der Produktentwicklung</li> <li>• Einsatzempfehlungen der Methodenanwendung, z. B. Prozesskettenanwendung, im Gesamtprozess.</li> </ul> <p>Die Inhalte werden an einem durchgängigen Entwicklungsbeispiel exemplarisch angewendet.</p>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daenzer, W. F.; Huber, F. (Hrsg.): Systems Engineering, Zürich: Industrielle Organisation 2002.</li> <li>• Ehrlenspiel, K.; Meerkamm H.: Integrierte Produktentwicklung. München: Hanser, 2013.</li> <li>• Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U., Mörtl, M.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer 2014.</li> <li>• Eiletz, R.: Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte. Aachen: Shaker 1999.</li> <li>• Eversheim, W.; Schuh, G.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. Berlin: Springer, 2005.</li> <li>• Lindemann, U. Methodische Entwicklung technischer Produkte. Berlin: Springer, 2009.</li> <li>• Gebhardt, A.: Understanding Additive Manufacturing, München: Hanser, 2011.</li> <li>• Müller, G.: FEM für Praktiker, Renningen: Expert, 2007.</li> <li>• Sender, U.: Von PDM zu PLM. München: Hanser, 2011.</li> <li>• Steinke, P.: Finite-Elemente-Methode, Berlin: Springer, 2010.</li> <li>• Schumacher, A.: Optimierung mechanischer Strukturen, Berlin: Springer, 2013.</li> <li>• Vajna, S. et al.: CAx für Ingenieure, Berlin: Springer, 2009.</li> </ul>

MBM 2.2 Daten-, Informations- und Risikomanagement

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Daten-, Informations- und Risikomanagement</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Data, information and risk management for product development processes
<i>Fachgruppe</i>	Produktentwicklung/CAX
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.2</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. Carsten Tille
<i>weitere Dozenten</i>	Prof. Dr.-Ing. Markus L. v. Schwerin
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM (SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 2 SWS – Praktikum, 2 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Methoden der Produktentwicklung I, Methoden der Rechnergestützten Produktentwicklung I
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<p>Die Studierenden können</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• verschiedene Informationsmanagement-Methoden anwenden und beurteilen</li> <li>• wesentliche Systeme zum Datenmanagement in der rechnergestützten Produktentwicklung analysieren und bewerten</li> <li>• unternehmensnahe Datenmanagementprozesse verstehen und nutzen</li> <li>• Kennzahlensysteme entwickeln und auf Unternehmensziele anpassen</li> <li>• den grundsätzlichen Aufbau von Qualitätsmanagementsystemen</li> <li>• Methoden zur Berechnung und Planung von Maschinenverfügbarkeiten</li> <li>• eine valide Einschätzung zu den anfallenden Lebenszykluskosten treffen</li> <li>• können das Ausfallrisiko von (Teil-)Systemen einschätzen</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<p>Methoden des Informationsmanagements:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• problemorientierte, aufgabenorientierte und prozessorientierte Ansätze, Architekturmodelle</li> <li>• Methoden zur strukturierten Ermittlung und Gegenüberstellung von Produkt- und Prozessdaten</li> </ul> <p>Datenmanagement in der Produktentwicklung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellbildung, CAX-Systeme, integriertes Produktmodell, rechnergestützte Produktentstehungsprozesse</li> <li>• Management von Produktdaten (PDM)</li> <li>• Komponenten und Kernfunktionen eines PLM-Systems</li> <li>• Strategien, Einführung, wirtschaftliche Aspekte für PLM</li> <li>• Übung zu ausgewählten Aspekten des rechnergestützten Datenmanagements</li> </ul>

	<p>Risikomanagement:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Berechnung von Ausfallwahrscheinlichkeiten</li> <li>• Berechnung von Maschinenverfügbarkeiten</li> <li>• Risikobasierte Beurteilung von Ausfallszenarien technischer Systeme</li> <li>• Nutzung von Maintenance Daten zur Risikoabschätzung und für Neuentwicklungen</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	alle eigenen schriftlichen Unterlagen (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heinrich, L. u.a.: Informationsmanagement. Oldenbourg, 2014.</li> <li>• Vajna, S.: CAx für Ingenieure. Springer, 2008.</li> <li>• Eigner, M. u.a.: Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Springer, 2014.</li> <li>• Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management. Springer, 2008.</li> <li>• Grabowski, H. u.a.: Datenmanagement in der Produktentwicklung. Hanser, 2002.</li> <li>• VDI-Richtlinie 2219: Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen.</li> <li>• Matyas, Kurt: Taschenbuch Instandhaltungslogistik. Hanser, 2008.</li> <li>• Pawellek, G.: Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik. Springer, 2103.</li> <li>• Schmitt, R.: Qualitätsmanagement: Hanser, 2015.</li> </ul>

## MBM 2.3 Antriebstechnik

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Antriebstechnik</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Transmission Technology
<i>Fachgruppe</i>	Produktentwicklung / Regelungstechnik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.3</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Westenthanner
<i>weitere Dozenten</i>	Prof. Dr.-Ing. Gerhard Knauer
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 4 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Maschinenelemente 1 und 2, Technische Mechanik, Hydraulik
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	Um den hohen Anforderungen an moderne Antriebskonzepte gerecht zu werden, müssen Ingenieure die kinematischen und technischen Möglichkeiten und Grenzen aller Arten von Antrieben im Maschinenbau kennen und in der Lage sein, neue, an die jeweiligen Anforderungen angepasste Antriebskonzepte zu entwickeln. Es werden allgemeingültige Grundlagen für die Konstruktion und die Auslegung der antriebstechnischen Komponenten (v.a. Sondergetriebe und ihre Bauelemente) erarbeitet und die notwendigen, übergreifenden Rechenmethoden vermittelt.
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlegende Anforderungen an Kraftübertragungen und Bewegungen in Verarbeitungs- bzw. Produktionsprozessen bei mobilen Maschinen und auf anderen Gebieten des Maschinenbaus</li> <li>• Sondergetriebe (Reib- und Formschluss)</li> <li>• Hydraulische Antriebstechnik</li> <li>• Getriebestrukturen, mehrstufige Getriebe</li> <li>• Getriebe: Steuerung einschl. der zugehörigen hydraulische, pneumatischen und elektronischen Elemente</li> <li>• Mechanik der Wälzkontakte und Tribologie</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Kurzfragen: Keine Berechnungen: Alle eigenen (kein PC, Handy o.ä.) (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	Weiterführende Literatur gemäß Vorlesungsskript

## MBM 2.4 Hochleistungswerkstoffe

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Hochleistungswerkstoffe</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	High-performance materials
<i>Fachgruppe</i>	Werkstoffe / Spanlose Fertigung
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.4</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing., J. Schröpfer, Prof. Dr.-Ing. F. Krafft
<i>weitere Dozenten</i>	Prof. Dr. T. Hornfeck, Prof. Dr. G. Wilhelm
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM (SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 4 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Werkstofftechnik, Spanlose Fertigung, Moderne Werkstoffe und Fügeverfahren
<i>Lernziele (Fertigkeiten und Kompetenzen)</i>	Die Studierenden sollen moderne Sonder- und Hochleistungswerkstoffe für hohe und höchste Beanspruchungen sicher auswählen, verarbeiten und anwenden können. Hierzu gehören ein vertieftes Verständnis der grundlegenden Erkenntnisse der Metallkunde und ein Einblick in die theoretische Beschreibung des Werkstoffverhaltens auf Basis atomistischer Modelle. Aufbauend auf diesen komplexen Mechanismen des Werkstoffverhaltens sollen die Studierenden konstruktive Randbedingungen für den Einsatz sowie Anforderungen für die prozesssichere Fertigung und Prüfung der ausgewählten Werkstoffsysteme ableiten können.
<i>Inhalt</i>	Thermodynamik und Kinetik metallphysikalischer Prozesse wie bspw. Keimbildung und Erstarrung, Diffusion etc., Mechanismen der Versetzungsbewegung und Festigkeitssteigerung; Werkstoffverhalten unter Umgebungsbedingungen; Entstehung von Werkstoffschäden. Metallische Werkstoffe mit bspw. speziellen Eigenschaften für Maschinenbau, Verkehrs und Energietechnik (z.B. hochfeste Mehrphasenstähle, warmfeste Fe/Ne-Legierungen, verschleiß- und korrosionsbeständige Knet- und Gusswerkstoffe, leitfähige und magnetische Werkstoffe für elektrische Antrieb, bei Bedarf Leichtbaumaterialien wie Al, Mg, Ti).
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Keine (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	Hornbogen, Metallkunde; Wei Sha, Steels; Berns, Theisen, Eisenwerkstoffe; Peters, Titan und Titanlegierungen; Beck, Magnesium und seine Legierungen

## MBM 2.5 Wärme- und Stoffübertragung

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Wärme- und Stoffübertragung</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Heat and Mass Transfer
<i>Fachgruppe</i>	Thermodynamik/Strömungsmechanik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.5</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr. A. Gubner
<i>weitere Dozenten</i>	
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM (SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 4 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Thermodynamik und Wärmeübertragung I
<i>Lernziele (Fertigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erlangung wissenschaftlicher Kompetenz in der Wärme- und Stoffübertragung</li> <li>• Nennen und erklären der zentralen Gesetzmäßigkeiten des diffusiven und konvektiven Stoff- und Wärmetransport</li> <li>• Berechnung von Konzentrationsprofilen und Flüssen für Diffusions- und Konvektionssituationen</li> <li>• Herleiten der Grundgleichungen für transiente und ein dimensionale Situationen und ihre Anwendung</li> <li>• Erläutern und Anwenden der Wärmeleitungsgleichung für die numerische Behandlung geometrisch mehrdimensionaler Fälle</li> <li>• Nennen der wichtigsten Stoffübergangsmodelle und ihre Berechnungsgrundlagen</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	Es werden die Grundlagen für die Wärme- und Stofftransportmechanismen hergeleitet, wobei auf die wissenschaftliche Systematik bei der Modellbildung besonders Wert gelegt wird. Das beinhaltet transiente, geometrische mehrdimensionale Wärmeleitung mit numerischen für die resultierenden PDEs, Diskussion von Grenzschichten, Wärmeübergang bei Phasenwechsel (Sieden und Kondensieren), Strahlungsaustausch und Überlagerung von konvektivem und diffusivem Stofftransport.
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen Unterlagen, Taschenrechner (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baehr, Stephan, Wärme- und Stoffübertragung, Springer</li> <li>• Bird, Stewart, Lightfoot Transport Phenomena, Wiley</li> <li>• Incropera, de Witt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Wiley</li> </ul>

## MBM 2.6 Produktionsautomatisierung und Robotik

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Produktionsautomatisierung und Robotik</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Production Automation and Robotics
<i>Fachgruppe</i>	Produktionstechnik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.6</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. Mirko Langhorst, Prof. Dipl.-Ing. U. Rascher
<i>Weitere Dozenten</i>	N.N.
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 4 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	Höhere Mathematik, Grundlagen der Programmierung, Grundlagen der Elektrotechnik, der Fertigungstechnik sowie der Regelungstechnik
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	Die Studierenden lernen, eine Ablaufplanung für ein automatisiertes Fertigungssystem zu entwerfen, Automatisierungslösungen zu beurteilen sowie automatisierte Fertigungssysteme hinsichtlich Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Nutzungsgrad zu vergleichen. Darüber hinaus werden Kenntnisse über Aufbau und Einsatz von Industrierobotern vermittelt. Die Studierenden erlernen die Programmierung von Industrierobotern anhand einfacher Anwendungen. Die dazu erforderlichen Kenntnisse zur Kinematik und Steuerung werden vorab erlernt.
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung automatisierter Fertigungssysteme</li> <li>• Steuerung von Fertigungssystemen</li> <li>• Informationsverarbeitung in der Fertigung</li> <li>• Materialflusssysteme</li> <li>• Ausgewählte Beispiele aus den Bereichen Handhabung, Bearbeitung, Montage, Messtechnik und Qualitätssicherung</li> <li>• Aufbau und Einsatz von Industrierobotern</li> <li>• kinematische Strukturen verschiedener Robotertypen</li> <li>• Programmierung von Industrieroboteranwendungen (Programmierverfahren, Entwicklung von einfachen Roboteranwendungsprogrammen)</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	Hesse Stefan: Industrieroboterpraxis – Automatisierte Handhabung in der Fertigung; Weck, Manfred: Werkzeugmaschinen 4 Automatisierung von Maschinen und Anlagen

## MBM 2.7 Fertigungstechnik für Hochleistungspolymere

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Fertigungstechnik für Hochleistungspolymere</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Manufacturing Technologies for High Performance Polymers
<i>Fachgruppe</i>	Chemie und Kunststoffe
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.7</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. H. Stoll
<i>weitere Dozenten</i>	N.N.
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM (SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 2 SWS – Übung, 2 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium: 45h - Eigenstudium: 135h
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Grundkenntnisse in organischer Chemie, polymeren Werkstoffen und ihren Verarbeitungstechnologien, sowie numerischen Methoden
<i>Lernziele (Fertigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden können vertieft die Abläufe beschreiben und verstehen die wesentlichen Zusammenhänge der gesamten Prozesskette zur Herstellung von Bauteilen aus Hochleistungspolymeren.</li> <li>• Die Studierenden bekommen ein weitgreifendes Verständnis zur werkstoff-, fertigungs- und anwendungsgerechten Gestaltung von komplexen Kunststoffbauteilen und können dieses anwenden.</li> <li>• Die Studierenden können Modelle zur Beschreibung der Eigenschaften von Hochleistungspolymeren anwenden und diese bezüglich ihrer Grenzen einschätzen.</li> <li>• Die Studierenden können den grundlegenden Einfluss des Herstellprozesses auf Bauteilgestalt und Bauteileigenschaften einschätzen, um dieses Wissen schon im frühen Stadium des Produktentwicklungsprozesses einzubringen (Simultaneous Engineering).</li> <li>• Die Studierenden können den Einfluss verschiedener Fertigungsparameter auf die Bauteileigenschaften bewerten.</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werkstoffe: Thermoplastische und duroplastische Hochleistungspolymere sowie Faserwerkstoffe.</li> <li>• Charakterisierung und mathematische Beschreibung von Polymerschmelzen: Thermischen Eigenschaften, rheologische Eigenschaften, Härtingsreaktion, fließinduzierte Faserorientierung.</li> <li>• Detaillierter Ablauf moderner Fertigungsverfahren mit Hochleistungspolymeren</li> <li>• Werkstoff-, fertigungs-, und anwendungsgerechte Gestaltung und Auslegung von komplexen Kunststoffbauteilen.</li> <li>• Einsatz rechnergestützter Methoden zur Prozess- und</li> </ul>

	<p>Bauteilentwicklung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualitätssicherung</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	keine (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	<p>Brinkmann, Thomas: Produktentwicklung mit Kunststoffen                      Ehrenspiel Klaus: Integrierte Produktentwicklung                      Ehrenstein, Gottfried: Handbuch Verbindungstechnik                      Neitzel, M., Mitschang, P., Breuer, U.: Handbuch Verbundkunststoffe                      Osswald, Tim: Material Science of Polymers for Engineers</p>

MBM 2.8 Projektarbeit

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Projektarbeit</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Independent Study
<i>Fachgruppe</i>	alle
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>MBM 2.8</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr. Frank Palme
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul MBM, FAM, LRM, FEM, TBM (WiSe/SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Selbstständige Arbeit
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std. / 135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	Ingenieurwissenschaftliche Grundlagen des Bachelorstudiums
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<p>Die Projektarbeit vermittelt die für das Arbeiten in Projektteams erforderlichen fachübergreifenden Qualifikationen. An konkreten Aufgabenstellungen werden die Projekterfahrungen im Hinblick auf Verantwortlichkeit, Lösungs- und Entscheidungsfindung vertieft. Ingenieurwissenschaftliche Problemstellungen können so über Methoden der Projektorganisation selbständig in analytische Wirkketten, Simulationsmodelle, Konstruktionen, Abläufe oder Aufbauten übertragen und anhand von Simulationen/Verifikationen/Versuchsergebnissen validiert werden. Die Studierenden</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• haben Kenntnisse über den Ablauf und die Methoden zur Planung, Steuerung und Validierung von Projekten</li> <li>• üben interdisziplinäre Teamfähigkeit, Systemdenken und soziale Kompetenz</li> <li>• erfahren, erkennen und steuern gruppenspezifische Prozesse</li> <li>• sind in der Lage, eine Aufgabenstellung in kleinen Gruppen selbständig zu analysieren, zu strukturieren sowie praxisgerecht in Arbeitspaketen zu lösen</li> <li>• entwickeln die Kompetenz, Verantwortung und Initiative im Team zu übernehmen und andere zu motivieren</li> <li>• sind auf diese Weise in der Lage, Wissen, Fähigkeiten und Kompetenzen in Teamarbeit selbständig zu erarbeiten</li> <li>• erkennen dabei mögliche Problemsituationen (z.B. mangelnde Abstimmung, Verzögerungen) und entwickeln passende Lösungsstrategien</li> <li>• sind in der Lage, das Erarbeitete zu dokumentieren und anderen zu präsentieren.</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition der Projektziele, Festlegung der Anforderungen, Erstellung von Teamkommunikationsstrukturen</li> <li>• Strukturierung der Projekthinhalte unter technischen, kausalen und zeitlichen Aspekten</li> <li>• Einrichten von Arbeitspaketen und Festlegen von Verantwortlichkeiten unter den Teammitgliedern</li> <li>• Erstellung des Projektplans (Teilaufgaben, Arbeitspakete, Zeitplan, Meilensteine, etc.)</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschaffung und Auswertung von Informationen (z.B. Recherche zu benötigten Projektdaten, Stand der Technik)</li> <li>• Erarbeitung, Bewertung, Auswahl und Realisierung von Lösungen (z.B. Anfertigen von Konstruktionen, Simulationen, Erstellen von Aufbauten, Durchführen von Versuchen bzw. Missionen)</li> <li>• Erstellen eines Abschlussberichts zur Dokumentation von Konzeption, Ausführung und Ergebnissen mit Präsentation</li> </ul>
<i>Leistungsnachweis</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studien-plan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripte</i>	<p>Hering, E.: Projektmanagement für Ingenieure. Springer, Wiesbaden (2014)</p> <p>Kunow, A.: Projektmanagement und Technisches Coaching. Hüthig (2005)</p> <p>International Council on Systems Engineering (INCOSE): Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. Wiley, Hoboken (2015)</p>

## FAM 2.6 Intelligente Messsysteme und Computersehen

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Intelligente Messsysteme und Computersehen</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Smart measuring systems and computer vision
<i>Fachgruppe</i>	Messtechnik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>FAM 2.6</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr. Frank Palme
<i>weitere Dozenten</i>	
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul FAM (SP3-Smart Vehicle), MBM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	1 SWS seminaristischer Unterricht, 3 SWS Praktikum
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium: 45h - Selbststudium: 135h
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennenlernen komplexer messtechnischer Sensorik und Systeme mit Schwerpunkt Bild-/Videosignalverarbeitung</li> <li>• Verständnis der Grundlagen modellbasierter, statistischer und adaptiver Messmethoden</li> <li>• Verständnis berührungsloser, optischer und videobasierter 2D/3D-Messsysteme und der autonomen Erfassung/ Interaktion in vielfältigen Umweltszenarien: Physikalische Grundlagen, Sensorik, Architektur, Hard- und Software</li> <li>• Fähigkeit zur Auswahl und Bewertung geeigneter bildgebender Messsysteme anhand gegebener Anforderungen</li> <li>• Verständnis der Funktionsweise und zugrundeliegenden Algorithmen der Bildverarbeitung und Objekterkennung</li> <li>• Fähigkeit zur Auslegung von Messsystemen und Erstellung grundlegender Algorithmen zur Bild-/Videosignalverarbeitung anhand systematischer Entwurfsmethodik</li> <li>• Kompetenz zur Lösung praxisnaher Messaufgaben mittels bildgebender Verfahren und zur Beurteilung und Interpretation der Messdaten</li> <li>• Kompetenz zur Evaluierung und Bewertung von Bildverarbeitungssystemen hinsichtlich Qualitäts-, Sicherheits-, Datenschutz- und Ethikkriterien, insbesondere im sozial-ökologischen/gesellschaftlichen Zusammenhang mit Autonomen Systemen</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung in Intelligente Messsysteme insbesondere zur Bild- und Videosignalverarbeitung: Aufbau, Funktionsweise, Fallstudien, Systembeispiele</li> <li>• Grundlagen modellbasierter Messsignalverarbeitung: Modellparameterschätzung, Datenreduktion, Spektralanalyse, Filterverfahren, Korrelationsmesstechnik</li> <li>• Grundlagen der Bild- und Videosignalverarbeitung: Erfassung, Grau-/Farbwertoperationen, Spektraltransformationen, Filterung, Kompression</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algorithmen zur Objekterkennung: Segmentierung, Morphologie, Merkmalsfindung, Mustererkennung, Klassifikation, Tracking</li> <li>• Hardware: Sensoren und Kameras (2D/3D), Rechnerarchitekturen (Signalprozessoren, FPGAs), verteilte Messnetze (LAN, Wireless, IoT)</li> <li>• Software: Praktische Auswahl, Parametrierung und Programmierung grundlegender Algorithmen zur Bild-/Videosignalverarbeitung</li> <li>• Entwurf, Programmierung und Bewertung ausgewählter Verfahren zur Objekterkennung am Beispiel automatisierte Inspektion und Autonomes Fahren</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studien-plan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	ohne Unterlagen (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	<p>Palme, F.: Skript zu Vorlesung und Praktikum. Hochschule München (2016)</p> <p>Tönnies, K. D.: Grundlagen der Bildverarbeitung. Pearson, Hallbergmoos (2005)</p> <p>Jamal, R., Hagedstedt, A.: LabVIEW - Das Grundlagenbuch. Pearson, Hallbergmoos (2004)</p>
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:frank.palme@hm.edu">frank.palme@hm.edu</a>

## FEM 1.6 Sensoren und Aktoren

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Sensoren und Aktoren (FEM 1.6)</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Sensors and Actuators
<i>Fachgruppe</i>	Elektrotechnik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>FEM 1.6</b>
<i>Modulverantwortliche(r)</i>	Horoschenkoff
<i>Dozent(inn)en</i>	Höcht, Horoschenkoff, Müller, Yuan
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Pflichtmodul FEM, Wahlpflichtmodul MBM (SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 4 SWS (mit selbstgesteuertem Lernen)
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium: 45 h, Eigenstudium: 135 h (Vor- und Nachbearbeitung, Prüfungsvorbereitung)
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Voraussetzungen nach Prüfungsordnung</i>	Grundlagen der Regelungstechnik, Elektronik, Mechanik und Messtechnik
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<p>Die Modulgruppe vermittelt auf angemessenem wissenschaftlichem Niveau die für Entwicklung und Einsatz mechatronischer Systeme in Fahrzeugen erforderlichen methodischen und fachlichen Qualifikationen auf dem Gebiet der Mechatronik. Dieses Modul vermittelt solide Kenntnisse über Sensoren und Aktoren einschließlich ihres stationären und dynamischen Verhaltens, ihrer physikalischen Grundlagen und der mathematischen Modellierung sowie von Methoden der Signalaufbereitung, Codierung und Verarbeitung. In Verbindung mit KI und digitaler Vernetzung können die vermittelten mechatronischen Kenntnisse zu „Cyber-Physical Systems“ weiterentwickelt werden.</p> <p>Die Studierenden haben</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• eingehende Kenntnisse der fahrzeugtypischen Sensoren und Aktoren, des stationären und dynamischen Verhaltens, der physikalischen Grundlagen sowie der mathematischen Modellierung und der mechanischen Analyseverfahren</li> <li>• gründliche Kenntnis von Methoden der Signalaufbereitung</li> </ul> <p>Die Studierenden können</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• einfache Digitalfilter selber entwerfen und realisieren</li> <li>• die wesentlichen Kenngrößen piezoelektrischer Aktoren und Sensoren berechnen und vorhersagen</li> <li>• elektrische, piezoelektrische und elektromagnetische Aktoren bewerten</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<p>Klassifizierung von fahrzeugtypischen Sensoren und Aktoren</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundaufbau, Anforderungen und Integration</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Induktive Drehgeschwindigkeitssensoren, Hall-Effekt-Sensoren, Drehzahlfühler, Luftmassensensor, Beschleunigungssensor</li> <li>• Elektromechanische und fluidmechanische Aktoren</li> <li>• Drosselklappensteller, Airbag Gasgenerator</li> <li>• Elektromagnetisches und piezoelektrisches Einspritzventil</li> </ul> <p>Piezoelektrische Aktoren und Sensoren</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Piezoelektrische Kenngrößen zur Beschreibung und Auslegung</li> <li>• Bauweisen von Aktoren und Sensoren</li> <li>• Wegvergrößerung, Blockierkraft und Leerlaufauslenkung</li> <li>• Schaltungen (passiv, semiaktiv und aktiv) und Schwingkreise</li> <li>• Grundlagen der piezoresistive Sensoren, Einfluss der Querempfindlichkeit</li> <li>• Zusammenhang zwischen elektrischer Schaltung und mechanischer Belastung</li> </ul> <p>Werkstoffbasierte Aktoren</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formgedächtnislegierungen (SMA)</li> </ul> <p>Bewertung der Sensoren und deren Anordnung in Hinblick auf „Cyber physical Systems“ an ausgewählten Fahrzeugkomponenten, z.B: induktive Ladeinheit.</p> <p>Digitale Signalverarbeitung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mathematische Grundlagen der Signalverarbeitung</li> <li>• Signalanalyse mit Fouriertransformation und FFT</li> <li>• Signalaufbereitung im Regelkreis zwischen Sensor und Aktor</li> <li>• Rekursive (IIR) und nichtrekursive (FIR) Digitalfilter</li> <li>• Periodizität und Rückfaltungsproblematik, Vergleich zu Analogfiltern</li> </ul> <p>Elektromagnetische Aktoren und elektrische Antriebe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauformen, Regelung und Steuerung von Gleichstrommotoren</li> <li>• Bauformen von Schrittmotoren</li> <li>• Reluktanzmotoren und piezoelektrischer Rotationsantrieb</li> </ul> <p>Hydraulische und pneumatische Aktoren</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauformen von Ventilen, Simulationstechniken</li> <li>• Druckaufnehmer</li> </ul> <p>Aktorische und sensorische Elemente der Bremsanlage</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau, Komponenten und Funktionsweise der Bremsanlage</li> <li>• Modellbildung</li> </ul>
<p><i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i></p>	<p>Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan</p>
<p><i>Zugelassene Hilfsmittel</i></p>	<p>(Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)</p>

<i>Literatur</i>	<p>O. Föllinger: Lineare Abtastsysteme, Oldenbourg Verlag München, 1993</p> <p>B. Gold, C.M. Rader: Digital Processing of Signals, McGraw-Hill, New York</p> <p>K. Ruschmeyer: Piezokeramik; Expert Verlag, 1994</p> <p>Hartmut Janocha: „Adaptronics and Smart Structures“Springer Verlag, Berlin</p> <p>Watanabe, F. Ziegler: Dynamics of Advanced Materials and Smart Structures, Springer Verlag 1999</p> <p>Keil, Stefan: Beanspruchungsermittlung mit Dehnungsmeßstreifen, Cuneus Verlag, 1995</p> <p>Roddeck: Einführung in die Mechatronik, Teubner Verlag (ISBN 3-519-16357-8)</p> <p>Fischer: Elektrische Maschinen, Hanser Verlag (ISBN 3-446-22693-1)</p> <p>Vogel: Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik, Hüthig Verlag (ISBN 3-7785-1547-0)</p>
------------------	---

## FEM 1.7 Modellbildung und Regelung

<i>Modulbezeichnung</i>	Modellbildung und Regelung ( <b>FEM 1.7</b> )
engl. Modulbezeichnung	Modelling and control
<i>Fachgruppe</i>	Regelungstechnik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>FEM 1.7</b>
<i>Modulverantwortliche(r)</i>	Nitzsche
<i>Dozent(inn)en</i>	N.N.
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Pflichtmodul FEM, Wahlpflichtmodul MBM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 3,5 SWS, Übung 0,5 SWS selbstgesteuertes Lernen,
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium: 45 (mit integriertem Praktikum von 15), Eigenstudium: 135
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Voraussetzungen nach Prüfungsordnung</i>	
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	Grundlagen der Regelungs- und Steuerungstechnik, Elektronik, Mess- und Regelungstechnik, Ingenieurinformatik
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<p>Die Studierenden erhalten die für Entwicklung und Einsatz mechatronischer Systeme in Fahrzeugen erforderlichen methodischen und fachlichen Qualifikationen. Das Modul vertieft die Kenntnisse in analoger und digitaler Regelungstechnik und vermittelt neue Methoden zur Modellierung und Optimierung komplexer dynamischer Systeme.</p> <p>Die Studierenden haben vertiefte Kenntnisse der analogen und digitalen Regelungstechnik, von der Modellierung im Zeit- und im Frequenzbereich bis hin zu optimierungsbasierten Regelungsansätzen.</p> <p>Dazu gehört auch das Wissen über die Funktionsweise und den Entwurf Neuronaler Netze.</p> <p>Die Studierenden erwerben die Fähigkeit, regelungstechnische Aufgabenstellungen durch KI-Modelle abzubilden, diese kritisch zu hinterfragen und zu bewerten</p>
<i>Inhalt</i>	<p>Mathematische Modellierung dynamischer Systeme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lineare physikalische Grundsysteme im Zeit- und Frequenzbereich</li> <li>• Zustandsraumdarstellung und Signalfußbild</li> <li>• Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit von Systemen</li> <li>• Modellierung im Frequenzbereich</li> <li>• Zusammenhang Zustandsraumdarstellung – Übertragungsfunktion</li> </ul> <p>Systemanalyse, Synthese und Optimierung von Regelkreisen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zustandsregelung</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passive und aktive Stabilitätserhöhung dynamischer Systeme</li> <li>• Methoden zur Analyse des Regelkreisverhaltens</li> <li>• Reglerauslegung und Optimierung durch Polvorgabe und nach verschiedenen Gütekritrien</li> <li>• Beobachterkonzepte und Grundzüge des Kalman-Filters</li> <li>• Modellprädiktive Regelung</li> </ul> <p>Digitale Regelung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mathematische Grundlagen der Abtastregelung</li> <li>• Beschreibung digitaler Regelkreise im Bildbereich der z-Transformation, Tustin-Transformation</li> <li>• Entwurfsverfahren digitaler Regler</li> <li>• Stabilitätsanalyse der Abtastregelung</li> </ul> <p>Neuronale Netze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsweise Neuronaler Netzwerke</li> <li>• Einblick in unterschiedliche Lernverfahren</li> <li>• Training eines Neuronalen Netzes</li> <li>• Einsatz unterschiedlicher Netzwerke in der Regelungstechnik</li> </ul> <p>Anwendungen aus den Bereichen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrdynamikregelung</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	(Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literatur</i>	<p>Dörrscheidt, Latzel: Grundlagen der Regelungstechnik, Teubner Verlag Stuttgart</p> <p>Anatoli Makarov: Regelungstechnik und Simulation, Vieweg Verlag</p> <p>O. Föllinger: Lineare Abtastsysteme, Oldenbourg Verlag München</p> <p>O. Föllinger: Regelungstechnik: Einführung in die Methoden und ihre Anwendung VDE Verlag</p> <p>J. M. Maciejowski: Predictive Control Pearson Education</p> <p>R. Rojas: Theorie der Neuronalen Netze, Springer Verlag Berlin</p> <p>A. Zell: Simulation neuronaler Netze, Oldenbourg Verlag</p> <p>Goodfellow et al: Deep Learning MIT Press, <a href="http://www.deeplearningbook.org">http://www.deeplearningbook.org</a></p>

## FEM 1.9 Mehrkörpersysteme

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Mehrkörpersysteme (FEM 1.9)</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Multibody systems
<i>Fachgruppe</i>	Mechanik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>FEM 1.9</b>
<i>Modulverantwortliche(r)</i>	Wolfsteiner
<i>Dozent(inn)en</i>	Wolfsteiner
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Pflichtmodul FEM und TBM, Wahlpflichtmodul MBM und FAM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 2,8 SWS und Übung, 1,2 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium: ca. 20h, Praktikum: ca. 30h, Übungsaufgaben und Leistungsnachweise ca. 100h, Eigenstudium: ca. 30h
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Voraussetzungen nach Prüfungsordnung</i>	
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	Grundlagen der Mechanik einfacher Mehrmassenschwinger und der Methoden zu ihrer Analyse, lineare Dynamik Grundlagen der räumlichen Kinematik und Kinetik Grundlagen Programmierung
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	Das Modul vermittelt auf angemessenem wissenschaftlichem Niveau die für Entwicklung und Einsatz nichtlinearer dynamischer mechanischer (insbesondere mechatronischer) Systeme erforderliche Methodenkompetenz auf dem Gebiet der Simulationstechnik. In diesem Modul werden die Methoden zur Behandlung komplexer, nichtlinearer, räumlicher Mehrkörpersysteme bereitgestellt und angewendet. Die Studierenden <ul style="list-style-type: none"> <li>• haben vertiefte Kenntnisse der physikalischen Modellbildung von Mehrkörpersystemen sowie deren mathematischer und numerischer Umsetzung und Auswertung,</li> <li>• wissen, wie die Methoden der Mehrkörpersysteme im Rahmen der Regelungstechnik, Systemanalyse und –optimierung einzuordnen und anzuwenden sind,</li> <li>• sind in der Lage, diese Methoden eigenständig auf komplexe, nichtlineare, räumliche Problemstellungen anzuwenden</li> <li>• im Rahmen der Laborpraktika werden darüber hinaus Kommunikation, Teamarbeit und Präsentationsfähigkeit geübt.</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	In Vorlesung und Praktikum werden die theoretischen Grundlagen der Mehrkörpermechanik vermittelt und deren

	<p>konkrete Anwendung und numerische Umsetzung mit geeigneter Software vermittelt.</p> <p>Inhalte der Vorlesung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der räumlichen Kinematik und Kinetik</li> <li>• Struktureller Aufbau von Mehrkörpersystemen</li> <li>• Herleitung der nichtlinearen Bewegungsgleichungen von Mehrkörpersystemen</li> <li>• numerische Lösungsverfahren, Fouriertransformation</li> <li>• Linearisierung, Modaltransformation</li> </ul> <p>Praktikum:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modellierung und Simulation typischer Lehr- und Anwendungsbeispiele aus den Bereichen Maschinenbau und Fahrzeugtechnik</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	(Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literatur</i>	<p>Eich-Soellner, E.; Führer, C.: Numerical Methods in Multibody Dynamics, Teubner, 1998.</p> <p>Hauger, W. u.a.: Technische Dynamik 3, Springer Verlag.</p> <p>Huston, R. L.: Multibody Dynamics, Butterworth-Heinemann, 1990.</p> <p>Pfeiffer, F.: Einführung in die Dynamik. Teubner, 1989</p> <p><b>Pfeiffer F., Glocker Ch.:</b> Multibody Dynamics with Unilateral Contacts.</p> <p>Pietruszka, W. D.: MATLAB in der Ingenieurpraxis. Teubner, 2005.</p> <p>Roberson, R. E.; Schwertassek, R.: Dynamics of multibody systems, Springer, 1988.</p> <p>Schiehlen, W.; Eberhard, E.: Technische Dynamik. Teubner, 2004.</p> <p>Shabana, A.: Dynamics of Multibody Systems, Cambridge University Press, 2005.</p> <p>Ulbrich, H.: Maschinendynamik, Teubner, 1996.</p>

## TBM 1.4    Strukturanalyse

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Strukturanalyse</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Structural Mechanics
<i>Fachgruppe</i>	Mechanik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>TBM 1.4</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. A. Fritsch
<i>weitere Dozenten</i>	-
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Pflichtmodul TBM, Wahlpflichtmodul MBM (SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	SU: 3 SWS    Pr: 1 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 45 Std./135 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Technische Mechanik, Festigkeitslehre, Höhere Festigkeitslehre, Einführung FEM
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<p>Den Studierenden werden tiefere Kenntnisse in der Strukturmechanik bzw. Kontinuumsmechanik sowie in der algorithmischen Behandlung nichtlinearer Fragestellungen vermittelt.</p> <p>Zunächst erfolgt eine Einführung in die Tensoralgebra und –analysis. Die Studierenden erlernen das Rechnen und den sicheren Gebrauch einer symbolischen Schreibweise und kennen die Rechenregeln für Tensoren höherer Stufe. Das Konzept der Richtungsableitung für tensorielle Gleichungen wird eingeführt, die Linearisierung nichtlinearer Gleichungen wird damit geübt.</p> <p>Die im Bachelor behandelten ebenen Probleme werden dann auf allgemeine dreidimensionale Kontinua beliebig großer Deformationen erweitert. Die Studierenden lernen die für große Deformationen zentrale, die Deformation beschreibende Größe, den Deformationsgradienten <math>\mathbf{F}</math> abzuleiten und anzuwenden. Sie kennen die Begriffe der Streckung und Gleitung im Zusammenhang mit großen Deformationen und die damit einhergehenden nichtlinearen Verzerrungsmaße (Green-Lagrange und Almansi). Sie können die Bedeutung von Referenz- und Momentankonfiguration erläutern. Abschließend werden die leistungskonjugierten Spannungstensoren (Cauchy-, 1. und 2. Piola-Kirchhoffscher Spannungstensor) eingeführt und mit ihnen die Erhaltungsgleichungen der Mechanik formuliert.</p> <p>Es werden iterative Verfahren zur Behandlung geometrisch nichtlinearer Probleme (Newton-Raphson) vorgestellt und Begriffe wie „geometrische und materielle Steifigkeit“ erläutert. Die Studierenden können diese Verfahren analytisch auf einfache, nichtlineare Problemstellungen anwenden und damit einen Lösungsalgorithmus entwerfen.</p>
<i>Inhalt</i>	Tensorrechnung, Tensoralgebra und –analysis, Nabla-Operator, Koordinatentransformation, Eigenwertproblem, Cayley-Hamilton-Gleichung, Richtungsableitung tensorieller

	Funktionen, Referenz- und Momentankonfiguration, rechter und linker Cauchy-Green Tensor, Strecktensoren, nichtlineare Verzerrungsmaße, polare Zerlegung, Spannungstensoren, Erhaltungsgleichungen der Mechanik, geometrische und materielle Nichtlinearitäten, Newton-Raphson.
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen Unterlagen, Taschenrechner (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten (fett gedruckte Literatur ist für die Vorlesung besonders empfohlen!)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fritsch: Skript „Strukturanalyse“, März 2015</b></li> <li>• Gross, Hauger, Wriggers: <i>Technische Mechanik, Band4, Hydromechanik, Elemente der Höheren Mechanik, Numerische Methoden</i>. Springer Verlag, 2009.</li> <li>• <b>Bonet J., Wood R.: <i>Nonlinear Continuum Mechanics for Finite Element Analysis</i>. Cambridge University Press, 2<sup>nd</sup> edition, 2008.</b></li> <li>• Holzapfel G. A.: <i>Nonlinear Solid Mechanics</i>. John Wiley &amp; Sons, 2000.</li> <li>• <b>Reddy J. N.: <i>An Introduction to Continuum Mechanics</i>. Cambridge University Press, 2<sup>nd</sup> edition, 2013.</b></li> <li>• Zienkiewicz, Taylor, Zhu : <i>The Finite Element Method. Its Basis and Fundamentals</i>. Butterworth Heinemann; Auflage: 6th ed.,2005</li> <li>• J. Altenbach and H. Altenbach. Einführung in die Kontinuumsmechanik. Teubner Studienbücher, Stuttgart, 1994</li> <li>• Zienkiewicz, Taylor: <i>The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics</i> . Butterworth Heinemann; Auflage: 6th ed.,2005.</li> <li>• Wriggers: <i>Nonlinear Finite Element Methods</i> . Springer Verlag, 2009.</li> </ul>
<i>Kommentar</i>	
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:armin.fritsch@hm.edu">armin.fritsch@hm.edu</a>

TBM 1.5 Fatigue & Fracture (Ermüdungsfestigkeit)

<i>Modulname (German)</i>	Ermüdungsfestigkeit
<i>Module name (English)</i>	<b>Fatigue &amp; Fracture</b>
<i>Fachgruppe</i>	Mechanics
<i>No.:</i>	<b>TBM 1.5</b>
<i>Responsible for Module</i>	Prof. Dr.-Ing. Klemens Rother
<i>Language</i>	English
<i>Assignment to curricula (Term)</i>	Mandatory Course Master TBM Elective Course Master MBM Elective Course for International Students Elective Course for MUAS Students (Winter and Summer)
<i>Type of Course, SWS</i>	SU (Lecture): 4 SWS, Ü (Exercise): 0 SWS
<i>Effort in hours</i>	Attendance/Study 45 hrs./145 hrs.
<i>Credit points</i>	6 ECTS
<i>Prerequisites according to „Prüfungsordnung“</i>	See „Studienplan Masterstudiengang TBM“
<i>Recommended qualifications</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Knowledge of basic and advanced mechanics of materials</li> <li>• Performing linear elastic finite-element-analyses</li> <li>• Basics of materials engineering</li> <li>• Application of spreadsheet analysis and/or computer algebra software (i.e. MS Excel, MATLAB, MATHCAD, ...)</li> </ul>
<i>Educational objective (Professional skills and expertise)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Knowledge about damage mechanisms for cyclic loading.</li> <li>• Ability to estimate strength of cyclic loaded structures.</li> <li>• Become acquainted with different methods of analytical fatigue and fracture assessment and judge differences.</li> <li>• Recognize and evaluate the statistical character of fatigue failure.</li> <li>• Apply methods for purpose of proving structural integrity, judging failures, qualification of structures or manufacturing defects.</li> <li>• Using case studies students will apply the methods by themselves and should deepen the knowledge by literature research and studies by themselves including discussion in the seminar.</li> <li>• This lecture features responsible treatment of risk due to fatigue failure. It covers professional practices and requirements in development and qualification of fatigue and safety relevant structures.</li> </ul>
<i>Content</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Case studies for failure</li> <li>• Material related aspects of fatigue failure</li> <li>• Factors influencing fatigue</li> <li>• Analysis of stresses with respect to fatigue evaluation</li> <li>• Description of loads and stresses (cycle counting, stress spectra)</li> <li>• Stress based, strain based and (optional) fracture mechanical approaches</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistical methods for assessment of fatigue tests and analytical procedures to proof structural integrity.</li> </ul>
<i>Exam (Type, Duration)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Authorized means for exam</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• All own printed material/books, pocket calculator, ruler and compass</li> <li>• Computers, smartphones, smartwatches or other equipment with internet access are not allowed (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)</li> </ul>
<i>Media used in lectures</i>	Blackboard, Beamer, Microsoft Excel, Software for Finite-Element-Analysis and fatigue analysis
<i>Seminar notes, recommended textbook</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Script for download for enrolled students.</li> <li>• Dowling, Norman: Mechanical Behavior of Materials. 4<sup>th</sup> Ed., Pearson Education, London, 2013</li> </ul>
<i>Literature</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lee, Mark Barkey, Hong-Tae Kang: Metal Fatigue Analysis Handbook. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2012</li> <li>• Arthur J. McEvily: Metal Failures: Mechanisms, Analysis, Prevention. John Wiley &amp; Sons, New York, 2<sup>nd</sup> Edition, 2013.</li> <li>• Yung-Li Lee, Jwo Pan, Richard Hathaway, Mark Barkey: Fatigue Testing and Analysis. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2005</li> <li>• Haibach, Erwin: Betriebsfestigkeit. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage 2002.</li> </ul>
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:Klemens.rother@hm.edu">Klemens.rother@hm.edu</a>

<i>Modulbezeichnung</i>	Ermüdungsfestigkeit
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	<b>Fatigue &amp; Fracture</b>
<i>Fachgruppe</i>	Mechanik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>TBM 1.5</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. Klemens Rother
<i>Sprache</i>	Englisch
<i>Zuordnung zum Curriculum</i>	Pflichtmodul Masterstudiengang TBM, Wahlpflichtmodul MBM (WiSe/SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	SU: 4 SWS, Ü: 0 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium: 60 Std./120 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Voraussetzungen nach Prüfungsordnung</i>	Siehe Studienplan Masterstudiengang TBM
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenntnisse der Elastostatik und der Höheren Festigkeitslehre</li> <li>• Durchführung von linearelastischen Finite-Elemente-Analysen</li> <li>• Grundlagen der Werkstoffkunde</li> <li>• Anwendung von Software für Tabellenkalkulation und/oder Computeralgebra (z.B. MS Excel, MATLAB, MATHCAD, o.ä)</li> </ul>
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kennenlernen der Versagensmechanismen bei zyklischen Beanspruchungen.</li> <li>• Befähigung, die Festigkeit zyklisch beanspruchter Strukturen durch Betriebsbelastungen zu bewerten.</li> <li>• Kennenlernen und Anwendung von verschiedenen Methoden zu rechnerischen Verfahren der Ermüdungsfestigkeit und (optional) der Bruchmechanik.</li> <li>• Erkennen und Bewerten des statistischen Charakters des Ermüdungsverhaltens von Bauteilen und experimentellen Nachweisen.</li> <li>• Anwendung der Methoden zur Bemessung und rechnerischen Qualifizierung von Konstruktionen, zur Beurteilung von Bauteilschäden, aber auch für die Beurteilung der Zulässigkeit von Fertigungsfehlern.</li> <li>• Anhand von Fallstudien im Rahmen von selbstständiger Projektarbeit führen die Studierenden die vermittelten Methoden selbst durch und vertiefen die im Seminar vermittelten Kenntnisse durch eigene Literaturrecherchen und Studium und diskutieren die Ergebnisse im Seminar.</li> <li>• Im Seminar wird der verantwortungsvolle Umgang mit dem Schadensrisiko „Bauteilermüdung“ und professioneller Umgang mit notwendigen Praktiken in der Entwicklung und Qualifizierung ermüdungsgefährdeter und sicherheitsrelevanter Strukturen vermittelt.</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studie von Schadenfällen der Industrie</li> <li>• Werkstoffmechanische Aspekte des Ermüdungsschadens</li> <li>• Einflussgrößen auf die Bauteilermüdung</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse von Beanspruchungen für die Bewertung von Bauteilermüdung sowie Bestimmung bruchmechanischer Parameter</li> <li>• Beschreibung von Belastungen und Beanspruchungen (Zählverfahren, Kollektive)</li> <li>• Spannungsbasierte Berechnungskonzepte</li> <li>• Dehnungsbasierte Berechnungskonzepte</li> <li>• (optional) Bruchmechanische Bewertungskonzepte</li> <li>• Anwendung von statistischen und wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden für die Auswertung und Bewertung von Versuchen und analytischen Betrachtungen.</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Schriftliche Prüfung (90 Minuten)
<i>Medienformen</i>	Tafel, Beamer, Microsoft Excel, Software für Finite-Element-Analysen und Lebensdauerbewertungen
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle eigenen geschriebene oder gedruckten Unterlagen, Bücher, Taschenrechner, Lineal, Zirkel.</li> <li>• Keine Computer, Smartphones, Smartwatches oder andere Geräte mit Internetzugriff.</li> </ul>
<i>Skript</i> <i>Buch zur Lehrveranstaltung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unterlagen zum Download für eingeschriebene Seminarteilnehmer.</li> <li>• Dowling, Norman: Mechanical Behavior of Materials. 4th Ed., Pearson Education, London, 2013</li> </ul>
<i>Literaturhinweise</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Young-Li Lee, Mark Barkey, Hong-Tae Kang: Metal Fatigue Analysis Handbook. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2012</li> <li>• Arthur J. McEvily: Metal Failures: Mechanisms, Analysis, Prevention. John Wiley &amp; Sons, New York, 2<sup>nd</sup> Edition, 2013.</li> <li>• Yung-Li Lee, Jwo Pan, Richard Hathaway, Mark Barkey: Fatigue Testing and Analysis. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2005</li> <li>• Haibach, Erwin: Betriebsfestigkeit. Springer Verlag, Berlin, 2. Auflage 2002.</li> </ul>
<i>Kommentar</i>	
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:Klemens.rother@hm.edu">Klemens.rother@hm.edu</a>

## TBM 2.3 Faserverbundstrukturen

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Faserverbundstrukturen</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Composite Structures
<i>Fachgruppe</i>	Mechanik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>TBM 2.3</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. Jörg Middendorf
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul TBM, MBM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	SU: 2 SWS Ü: 2 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium/Studienarbeit: 45/75/60 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Empfohlene Voraussetzungen</i>	Technische Mechanik, Leichtbau, FEM
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Studierenden sind in der Lage, durch Anwendung der klassischen Laminattheorie, geeigneter Festigkeitshypothesen, fertigungstechnischer und konstruktiver Kenntnisse Faserverbundstrukturen zu konzipieren und zu berechnen.</li> <li>Als Berechnungswerkzeuge beherrschen die Studierenden sowohl analytische Methoden in Verbindung mit eigener Programmierung (MATLAB, MAPLE, C, etc.) als auch die Anwendung von FEM-Programmen (ABAQUS)</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Werkstofftechnische und fertigungstechnische Grundlagen von Faserverbundstrukturen</li> <li>Klassische Laminattheorie</li> <li>Versagen und Bruchanalyse von UD-Schichten</li> <li>Degradationsanalyse von Laminaten</li> <li>Laminatentwurf und gewichtsoptimale Auslegung von Faserverbundstrukturen</li> <li>Finite-Element-Analysen von Faserverbundstrukturen mit dem Programm ABAQUS</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Eingesetzte Software</i>	Z.B. FEM-Programm ABAQUS, MATLAB bzw. MAPLE (optional)
<i>Literaturhinweise/Skripte</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Helmut Schürmann: „Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden“, Springer-Verlag.</li> <li>Alfred Puck: „Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten“, Hanser-Verlag.</li> </ul>
<i>Kommentar</i>	
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:joerg.middendorf@hm.edu">joerg.middendorf@hm.edu</a>

## TBM 2.4 Strukturdynamik

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Strukturdynamik</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Structural Dynamics
<i>Fachgruppe</i>	Mechanik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>TBM 2.4</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. Johannes Wandinger
<i>weitere Dozenten</i>	
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlmodulpflichtmodul TBM, MBM, LRM (SoSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	Seminaristischer Unterricht, 4 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium: 45h - Eigenstudium: 135h
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Vorausgesetzte Kenntnisse</i>	Mathematik, Technische Mechanik, FEM für statische Analysen linear-elastischer Strukturen, Grundkenntnisse in der Programmierung mit Matlab oder GNU Octave
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Studierenden verstehen das Schwingungsverhalten linear-elastischer Strukturen und den Einfluss der verschiedenen Systemparameter. Sie können Eigenschwingungen numerisch berechnen, die Ergebnisse korrekt interpretieren und die Qualität der Ergebnisse bewerten.</li> <li>• Die Studierenden kennen die Methoden zur Beschreibung von zufallserregten Schwingungen. Sie können Zeitreihen mit Hilfe von Matlab/Octave auswerten und die Ergebnisse korrekt interpretieren.</li> <li>• Die Studierenden können die klassischen Methoden zur numerischen Berechnung von Übertragungsfunktionen sicher anwenden, die Ergebnisse korrekt interpretieren sowie die Fehlereinflüsse abschätzen.</li> <li>• Die Studierenden kennen den Einfluss von Vibrationen auf Komfort, Arbeitssicherheit und Lärmemissionen.</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klassifikation von dynamischen Lasten</li> <li>• Impulsantwort, Fourier-Transformation und Übertragungsfunktionen</li> <li>• Stochastische Prozesse, Leistungs- und Kreuzleistungsdichtespektren</li> <li>• Numerische Zeitreihenanalyse mit GNU/Octave</li> <li>• Schwingungseigenschaften kontinuierlicher Systeme und ihre Approximation durch diskrete Modelle</li> <li>• Klassische Berechnungsverfahren der Strukturdynamik: Modalanalyse, Frequenzganganalyse, Transiente Analyse</li> <li>• Erweiterte modale Reduktion: Fehleranalyse, modale</li> </ul>

	<p>statische Dehnungsenergien, modale effektive Massen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilstrukturen: statische Reduktion und Craig-Bampton-Methode</li> <li>• Modellbewertung</li> <li>• Dämpfungsmodelle: viskose Dämpfung, Strukturdämpfung, Rayleigh-Dämpfung, Näherungscharakter der Dämpfungsmodelle</li> </ul> <p>Übungsaufgaben und die Studienarbeit werden mit dem selbst entwickelten, auf GNU/Octave basierenden Programmbaukasten Mefisto durchgeführt.</p>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Knaebel, Jäger, Mastel, <i>Technische Schwingungslehre</i>, Springer 2009</li> <li>• Föllinger, <i>Laplace-, Fourier- und z-Transformation</i>, VDE-Verlag 2011</li> <li>• Clough, Penzien, <i>Dynamics of Structures</i>, Computers &amp; Structures 2003</li> <li>• Gasch, Knothe, Liebich, <i>Strukturodynamik</i>, Springer 2012</li> <li>• Freymann, <i>Strukturodynamik – Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch</i>, Springer 2011</li> <li>• Craig, Kurdila, <i>Fundamentals of Structural Dynamics</i>, Wiley 2006</li> <li>• Craig, <i>Structural Dynamics – An Introduction to Computer Methods</i>, Wiley 1981</li> <li>• Wang, Wang, <i>Structural Vibration: Exact Solutions for Strings, Membranes, Beams, and Plates</i>, CRC Press 2013</li> <li>• Adhikari, <i>Structural Dynamic Analysis with Generalized Damping Models: Analysis</i>, John Wiley &amp; Sons 2013</li> <li>• Bathe, <i>Finite Element Procedures</i>, Prentice Hall 1996</li> <li>• Bendat, Piersol, <i>Random Data: Analysis and Measurement Procedures</i>, Wiley 2010</li> <li>• Brandt, <i>Noise and Vibration Analysis: Signal Analysis and Experimental Procedures</i>, Wiley 2011</li> <li>• Natke, <i>Einführung in Theorie und Praxis der Zeitreihen und Modalanalyse</i>, Vieweg 1992</li> <li>• Saad, <i>Numerical Methods for Large Eigenvalue Problems</i>, SIAM 2011</li> <li>• Wilkinson, <i>The Algebraic Eigenvalue Problem</i>, Oxford 1988</li> <li>• Eigene Lehrmaterialien zum Download</li> </ul>
<i>Kommentar</i>	
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:johannes.wandinger@hm.edu">johannes.wandinger@hm.edu</a>

## TBM 2.5 Numerische Strömungsmechanik CFD

<i>Modulbezeichnung</i>	<b>Numerische Strömungsmechanik</b>
<i>engl. Modulbezeichnung</i>	Computational Fluid Dynamics, CFD
<i>Fachgruppe</i>	Energietechnik
<i>Lfd. Nr.</i>	<b>TBM 2.5</b>
<i>Modulverantwortlicher</i>	Prof. Dr.-Ing. A. Gubner
<i>Weitere Dozenten</i>	Prof. Dr.-Ing. B. Kniesner
<i>Sprache</i>	Deutsch
<i>Zuordnung zum Curriculum (Turnus)</i>	Wahlpflichtmodul TBM, MBM, LRM, FAM (WiSe)
<i>Art der Lehrveranstaltung, SWS</i>	SU: 2 SWS Ü: 2 SWS PR: 0 SWS
<i>Arbeitsaufwand in Zeitstunden</i>	Präsenzstudium/Eigenstudium/'Studienarbeit: 45/45/90 Std.
<i>Kreditpunkte</i>	6 ECTS
<i>Empfohlene Kenntnisse</i>	Mathematik, CAD, Strömungsmechanik, Thermodynamik und Wärmeübertragung
<i>Lernziele (Fähigkeiten und Kompetenzen)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verständnis und Anwendung von Modellierung und Simulation strömungsmechanischer Vorgänge sowie deren Bedeutung im Rahmen virtueller Erprobung bzw. Entwicklung</li> <li>• Kenntnis der Navier Stokes Gleichungen und mathematische Klassifikation von Strömungen (hyperbolische, parabolische, elliptische und gemischte Strömungsformen)</li> <li>• Formulierung eines CFD Problems bestehend aus Berechnungsdomäne (Geometrie), Diskretisierung (Gitterbildung), Strömungssimulation und Postprocessing</li> <li>• Anwendung typischer industriell genutzter CFD Software und Befähigung eine typische technische Fragestellung als CFD-Case selbstständig aufzusetzen</li> <li>• Kritische Bewertung der erhaltenen Ergebnisse und Ableitung von Verifikationsexperimenten</li> </ul>
<i>Inhalt</i>	<p>Es wird eine Übersicht und Einstieg in Funktionsweise und Anwendung moderner CFD-Software gegeben. Dazu gehört</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einführung und Vorstellung der strömungsmechanischen Grundgleichungen (Navier-Stokes, Euler, ...)</li> <li>• Turbulenzmodellierung (DNS, LES, RANS, Hybrid) mit Schwerpunkt auf Wirbelviskositätsmodellen und Wandbehandlung</li> <li>• Einführung in die Numerischen Lösungsverfahren: Vernetzung, numerisches Gitter, Diskretisierungsverfahren (FDM, FVM) mit Schwerpunkt auf Finite Volumen Methode (stationär und instationär), Gleichungslösung TDMA, Gauß-Seidel, Multi-Grid Verfahren, Transiente Strömungen: Explizite und implizite Schemata, Eigenschaften numerischer Verfahren (Konsistenz, Beschränktheit Stabilität)</li> <li>• Fortgeschrittene Modellierung: konjugierte Wärmeübertragung, kompressible Strömung, Verbrennung, bewegte Gitter, Mehrphasenströmung</li> </ul>
<i>Prüfung (Form, Dauer, evtl. Zulassungsvoraussetzung)</i>	Prüfung gemäß Studien- und Prüfungsordnung sowie Studienplan

<i>Zugelassene Hilfsmittel</i>	Alle eigenen Unterlagen, Taschenrechner (Abweichungen im WiSe 2020/21 möglich, nähere Informationen über die Homepage)
<i>Literaturhinweise/Skripten</i>	H. K. Versteeg, W. Malalasekera, An Introduction to Computational Fluid Dynamics, Pearson Prentice Hall; J. H. Ferziger, M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer Verlag.
<i>Kommentar</i>	
<i>E-Mail</i>	<a href="mailto:andreas.gubner@hm.edu">andreas.gubner@hm.edu</a>