

|                             |                                                                                                                                          |                       |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Modulbezeichnung:</b>    | <b>Kernfachmodul Allgemeine Werkstoffeigenschaften (M1-MWT-WW1/M6-NT-WW1)</b><br>(General Material Properties for majors)                | <b>30 ECTS</b>        |
| Modulverantwortliche/r:     | Mathias Göken                                                                                                                            |                       |
| Lehrende:                   | Benoit Merle, Erik Bitzek, Dorothea Matschkal, Heinz Werner Höppel, Peter Weidinger, Peter Felfer, Mathias Göken, Steffen Neumeier, u.a. |                       |
| Startsemester: WS 2019/2020 | Dauer: 2 Semester                                                                                                                        | Turnus: jährlich (WS) |
| Präsenzzeit: 345 Std.       | Eigenstudium: 555 Std.                                                                                                                   | Sprache: Deutsch      |

#### **Lehrveranstaltungen:**

Bei den optionalen LV handelt es sich um Wahlpflichtveranstaltungen, die im Gesamtumfang von mindestens 14 ECTS erbracht werden müssen.

#### **Angewandte Grundlagen I+II**

Pflichtveranstaltungen (10 ECTS)

Angewandte Grundlagen der Werkstoffwissenschaften I (WS 2019/2020, Vorlesung, 2 SWS, Erik Bitzek et al.)

Übungen zu Angewandte Grundlagen der Werkstoffwissenschaften (WS 2019/2020, Übung, 2 SWS, Dorothea Matschkal et al.)

Angewandte Grundlagen der Werkstoffwissenschaften 2 (SS 2020, Vorlesung, 2 SWS, Mathias Göken)

Übungen zu Angewandte Grundlagen der Werkstoffwissenschaften 2 (SS 2020, Übung, 2 SWS, Dorothea Matschkal et al.)

#### **Kernfachpraktikum**

(6 ECTS)

Verbindliche Zulassungsvoraussetzung zum Praktikum ist die Teilnahme an der Sicherheitsbelehrung (Termin und Ort nach besonderer Einladung an die registrierten Teilnehmer).

Kernfachpraktikum Allgemeine Werkstoffeigenschaften (SS 2020, Praktikum, 6 SWS, Anwesenheitspflicht, Heinz Werner Höppel et al.)

#### **Wahlpflichtvorlesungen**

Aus den folgenden Wahlpflichtvorlesungen sind Veranstaltungen im Umfang von mind. 14 ECTS auszuwählen:

Anforderungen der Industrie an Werkstoffingenieure (WS 2019/2020, optional, Vorlesung mit Übung, 2 SWS, Peter Weidinger)

Grundlagen der Schadensanalyse an Bauteilen (SS 2020, optional, Vorlesung mit Übung, 2 SWS, Peter Weidinger)

Mikro- und Nanomechanik (SS 2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Benoit Merle)

Eisen- und Stahlwerkstoffe I (WS 2019/2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Peter Felfer)

Eisen- und Stahlwerkstoffe II (SS 2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Peter Felfer)

Hochtemperaturwerkstoffe und Intermetallische Phasen (WS 2019/2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Steffen Neumeier)

Werkstoffe: Tribologie und Oberflächentechnik (SS 2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Heinz Werner Höppel)

Ermüdungsverhalten von Metallen und Legierungen (SS 2020, optional, Vorlesung, 1 SWS, Heinz Werner Höppel)

Biomechanik: Mechanische Eigenschaften biologischer Materialien (SS 2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Benoit Merle)

Quantitative Gefügeanalyse (Stereologie) (SS 2020, optional, Vorlesung, 1 SWS, Heinz Werner Höppel)

Röntgenmethoden in der Materialanalyse (SS 2020, optional, Vorlesung, 1 SWS, Steffen Neumeier)

Numerische Methoden in den Werkstoffwissenschaften - Atomistische Methoden (SS 2020, optional, Vorlesung mit Übung, 2 SWS, Erik Bitzek)

Rasterelektronenmikroskopie in Materialforschung und Nanotechnologie (WS 2019/2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Erdmann Spiecker et al.)

Einweisung in die Bedienung der Rasterelektronenmikroskope (WS 2019/2020, optional, Kurs, 2 SWS, Daniel Elitzer et al.)

Rastersondenmikroskopie / Nanoindentierung (WS 2019/2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Benoit Merle)

Übungen zu Rastersondenmikroskopie / Nanoindentierung (WS 2019/2020, optional, Übung, 1 SWS, Benoit Merle et al.)

Transmissionselektronenmikroskopie in Materialforschung und Nanotechnologie 1 (WS 2019/2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Erdmann Spiecker)

Transmissionselektronenmikroskopie in Materialforschung und Nanotechnologie 2 (SS 2020, optional, Vorlesung, 2 SWS, Erdmann Spiecker et al.)

## **Inhalt:**

### **Angewandte Grundlagen I+II, V, 2x2 SWS, 6 ECTS**

Im Blickpunkt steht die Beziehung zwischen Mikrostruktur / Aufbau der Werkstoffe und ihren mechanischen Eigenschaften. Hierzu werden grundlegende Verformungs- und Schädigungsmechanismen besprochen und auf technisch relevante Legierungen übertragen. Die Inhalte im Einzelnen:

- Mechanische Eigenschaften (Ein- und Vielkristallverformung, Verformungsmechanismen)
- Bruchmechanik (Grundlagen, Anwendungen)
- mikrostruktureller und atomarer Aufbau auf unterschiedlichen Längenskalen sowie die daraus ableitbare Eigenschaften)
- Verbundwerkstoffe
- Simulationstechniken und deren Anwendung
- Phasenumwandlungen und Ausscheidungskinetik

**Übungen zu Angewandten Grundlagen I+II, 2x2 SWS, 4 ECTS** Anhand von Übungsaufgaben werden die Vorlesungsinhalte der VL Angewandte Grundlagen vertieft. Themenschwerpunkte:

- Simulationstechniken
- Verformungsmodelle
- Ausscheidungskinetik
- Experimentelle Techniken
- Bruchmechanik

**Kernfachpraktikum, 6 SWS, 6 ECTS** Praktische Vertiefung der Lehrinhalte der Vorlesungen Angewandte Grundlagen I & II Versuche:

- Diffusion in Legierungen
- Ausscheidungsvorgänge
- Dynamische Rekristallisation und dynamische Verformung
- Tribologie und Oberflächentechnik
- Bruchmechanik
- Ermüdung

**Wahlpflichtvorlesungen:** Aus folgenden Wahlpflichtvorlesungen kann ausgewählt werden (Mindestumfang: 14 ECTS):

**Anforderungen an einen Werkstoffingenieur in der industriellen Praxis, V+Ü, 1+1 SWS, 2,5 ECTS**

- Entwicklungsablauf im Unternehmen
- Werkstoffnormung und Spezifikationen
- Einführung in die Schadensanalyse
- Umgang mit Patenten und Datenbanken
- Werkstofftechnische Qualitätsaspekte
- Aspekte der Umweltverträglichkeit
- Anforderungen an soziale Kompetenz
- Übergang von Normprüfkörpern auf Bauteilprüfung
- Vertiefung der Vorlesungsinhalte an Fallbeispielen aus der Praxis und Gerätedemonstrationen (Übung)

**Mikro-/ Nanomechanik, V, 2 SWS, 2 ECTS**

- Größeneffekte in der Plastizität
- Fortgeschrittene mikromechanische Methoden

**Schadensanalyse, V+Ü, 1+1 SWS, 2,5 ECTS**

- Grundlagen der Schadensanalyse metallischer Werkstoffe
- Anforderungsgerechtes Vorgehensweisen nach VDI
- Anwendung an Beispielfällen

### **Eisen- und Stahlwerkstoffe I+II , V, 2+2 SWS, 3+3 ECTS**

- Grundlagen der Stahlherstellung
- Grundlagen der Wärmebehandlungen
- Eigenschaften und Anwendung der verschiedenen Stahlklassen
- Schweißmetallurgie
- Eigenschaften und Anwendungen von Eisengusswerkstoffen

### **Grundlagen der Schadensanalyse, VU, 2 SWS, 3 ECTS**

- Grundlagen der Schadensanalyse
- Nachweisführung und Regelungen
- Vertiefung an Beispielfällen aus der Praxis

### **Hochtemperaturwerkstoffe und Intermetallische Phasen, V, 2 SWS, 3 ECTS**

- Grundlagen der Hochtemperaturverformung
- Struktur und Eigenschaften Intermetallischer Phasen
- Vorstellung unterschiedlicher Werkstoffgruppen (Nickel- und Cobaltbasis-Superlegierungen, TiAl, FeAl, Oxidationsschutzschichten, Hochtemperaturstähle. . . ) mit ihren jeweiligen Eigenschaften und Anwendungen
- aktuelle Entwicklungen in diesem Gebiet

### **Tribologie und Oberflächentechnik, V, 2 SWS, 3 ECTS**

- Beschichtungstechnologien
- Grundlagen der Tribologie
- Verschleißmechanismen
- Einführung in die Oberflächentechnik

### **Ermüdungsverhalten von Metallen und Legierungen, V, 1 SWS, 1,5 ECTS**

- Grundlagen der Wechselverformung und der Dauerschwingfestigkeit metallischer Werkstoffe
- Bedeutung in der Praxis
- Durchführung der Ermüdungsversuche
- zyklisches Verformungs- und Sättigungsverhalten, zyklisches Gleitverhalten, ermüdungsinduzierte Gefügeänderungen
- Bildung und Ausbreitung von Ermüdungsrissen,
- Ermüdungslebensdauer
- Multiamplitudenbelastung
- Weitere spezielle Ermüdungsthemen

### **Biomechanik V, 2 SWS, 3 ECTS**

- Aufbau, Struktur und Verhalten von biologischen Geweben unter mechanischer Belastung

### **Quantitative Gefügeanalyse, V+Ü, 1 SWS, 1,5 ECTS**

- Einführung in die Quantitative Gefügeanalyse und die dazugehörigen Meßmethoden
- Auswertemethoden
- Grundlagen der Statistik
- Praktische Anwendung von Image C

### **Röntgenmethoden in der Materialanalyse, V, 1 SWS, 1,5 ECTS**

- Grundlagen der Röntgen-/Synchrotron-/Neutronenbeugung
- Experimentelle Methoden
- Anwendung in der Materialanalyse (Gitterkonstantenbestimmung, Spannungsanalyse, Texturanalyse, . . . )

### **Einführung in die Finite Elemente Methode und Nanoindentierung an Schichten, Ü+P, 2 SWS, 2,5 ECTS**

### **Numerische Methoden in den Werkstoffwissenschaften, V+Ü, 2 SWS, 3 ECTS**

The aim of the course is to build the theoretical basis required to perform and analyze cutting-edge atomistic simulations in materials science, and to provide the students with a "computational toolbox" for the most common tasks in atomistic modeling. The focus of this course lies on direct hands-on teaching. The students will work on little projects related to current research topics. This will enable the students to independently perform simulations using classical molecular dynamics (MD) codes like IMD and QuantumEspresso for DFT calculations. Topics include:

- General theory of atomistic simulations

- Advanced methods for the generation of atomistic samples
- MD integration algorithms for different thermodynamic ensembles (NVE,NVT,NPT)
- Energy minimization algorithms and structure optimization
- Introduction to Density Functional Theory
- Determination of defect properties
- Atomic interaction potentials, including EAM
- Advanced analysis and visualization methods for atomistic samples
- Monte Carlo and kinetic Monte Carlo methods
- Modeling thermally activated events: transition state theory, nudged elastic band calculations, hyperdynamic

**Rastersondenmikroskopie und Nanoindentierung, V+Ü, 2+1 SWS, 3+1 ECTS** nur für MWT-Studierende!

#### **Rastersondenmikroskopie**

- Experimenteller Aufbau (Rastersondenmikroskop und Sonden)
- Rasterkraftmikroskopie (Betriebsmodi)
- Rastertunnelmikroskopie (Tunneleffekt und Betriebsprinzip)
- Bilddatenverarbeitung

#### **Nanoindentierung**

- Grundlagen der Härteprüfung
- Experimenteller Aufbau eines Nanoindenters
- Grundlagen der Kontaktmechanik (Sneddon, Hertz)
- Oliver-Pharr Auswertemethode
- Fortgeschrittene Methoden zur Bestimmung lokaler mechanischer Eigenschaften (Dehnratenabhängigkeit, Fließspannung, theoretische Festigkeit, Dynamische Charakterisierung)

#### **Rasterelektronenmikroskopie, V, 2 SWS, 3 ECTS** Komponenten eines REM

- Elastische/inelastische Wechselwirkung Elektron-Probe, Wechselwirkungsvolumen, Sekundär-/Rückstreuielektronen
- Kontrastmechanismen mit Bezug auf die verschiedenen Detektorsysteme
- Elektronenbeugung und ihre Anwendung im REM
- Rastertransmissionsmikroskopie (STEM)
- Quantitative Röntgenspektroskopie
- Fokussierte Ionenstrahlen (Dual-Beam FIB, He-Ionenmikroskopie)
- Präparationsspezifische Probleme
- Anwendungsbeispiele

#### **Lernziele und Kompetenzen:**

##### *Fachkompetenz*

##### *Evaluieren (Beurteilen)*

##### Die Studierenden

- vertiefen ihr Wissen über die vielfältigen strukturellen Aufbauten der Werkstoffe und können diese beurteilen
- vertiefen das Verständnis über die Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung, der Struktur und den Eigenschaften von Werkstoffen
- können Legierungsthermodynamik anwenden und Zustandsdiagrammen analysieren
- vertiefen das Wissen zu den mechanischen Eigenschaften und Härtungsmechanismen
- können Struktur-Eigenschaftskorrelationen erschließen und überprüfen
- beurteilen eigenständig Struktur-Eigenschaftsbeziehungen an Beispielen
- verstehen die Vorgänge und Eigenschaften von Werkstoffen auf verschiedenen Größenskalen
- erwerben fundierter Kenntnisse über die Grundlagen zum Aufbau der verschiedenen Werkstoffklassen, Charakterisieren unterschiedlicher Strukturen
- vertiefen ihr Verständnis der Zusammenhänge zwischen Aufbau, thermomechanischer Vorgeschichte und Eigenschaften der Werkstoffe und können diese erklären
- wenden und beurteilen Simulationsmethoden und können diese klassifizieren
- vertiefen die erlernten Inhalte durch Übungen und Praktikum

- erlernen und wenden neuen Methoden an

Je nach Auswahl der Wahlpflichtveranstaltungen werden folgende Lernziele zusätzlich erreicht:  
Die Studierenden

- erlernen, wenden an und beurteilen Vorgängen bei zyklischer Verformung
- verstehen die Grundlagen der Biomechanik, wenden ihr Wissen an und beurteilen an entsprechenden Praxisbeispielen
- erlernen und verstehen Vorgänge bei Hochtemperaturbelastung und evaluieren Kriterien zur Auswahl von Werkstoffen und Beschichtungen für HT-Anwendungen
- verstehen und analysieren Vorgänge bei tribologischer Belastung
- erlernen, verstehen und wählen Beschichtungen für den Verschleißschutz aus und stellen Kriterien für eine beanspruchungsgerechte Auswahl auf
- erlernen Grundlagen der Schadensanalyse, wenden diese an Beispielfällen an und stellen Schadenshypothesen auf
- erlernen und verstehen wichtige Anforderungen aus dem industriellen Umfeld an das Berufsfeld, schätzen ein und beurteilen unterschiedliche Anforderungsprofile von Produkten in Bezug auf Priorität, Ökonomie und Ökologie

#### *Lern- bzw. Methodenkompetenz*

Neue Methodenkompetenzen, die erworben werden können:

- Grundlegende Experimentiertechniken
- Simulationstechniken
- Grundlegende Mikroskopiertechniken
- Quantitative Gefügeanalyse
- Grundlegende Methoden der Röntgenbeugung

### **Studien-/Prüfungsleistungen:**

Kernfachpraktikum M1\_WW1 (Prüfungsnummer: 62401)

Studienleistung, Praktikumsleistung  
weitere Erläuterungen:

Verbindliche Teilnahmevoraussetzung für jeden Praktikumsversuch ist die erfolgreiche Erledigung des Vorprotokolls (Antestat).

Das Praktikum ist nur bestanden, wenn alle Versuche sowie alle Vor- und Nachprotokolle erfolgreich absolviert wurden (vollständige Testatkarte mit Nachweis für Vorprotokoll [Antestat], Versuchsdurchführung und Nachprotokoll [Abtestat] für jeden Versuch).

Erstablegung: SS 2020, 1. Wdh.: keine Angabe

1. Prüfer: Heinz Werner Höppel

Kernfachprüfung M1\_WW1 (Prüfungsnummer: 62402)

Prüfungsleistung, mündliche Prüfung, Dauer (in Minuten): 40

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

weitere Erläuterungen:

Der Umfang der Prüfungen richtet sich nach den ausgewählten (optionalen) Wahlpflichtveranstaltungen.

Alternative Prüfungsform laut Corona-Satzung: Die mündliche Prüfung findet als digitale Fernprüfung per ZOOM statt.

Prüfungssprache: Deutsch

Erstablegung: WS 2019/2020, 1. Wdh.: keine Angabe

1. Prüfer: Mathias Göken

1. Prüfer: Erik Bitzek

1. Prüfer: Peter Felfer