

**Modulbezeichnung:** **Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen (MWT-M2/M3-Mik&NanoChar)** **12.5 ECTS**  
(Microscopy and Nanocharacterization of Materials)

Modulverantwortliche/r: Erdmann Spiecker

Lehrende: Benoit Merle, Erdmann Spiecker, Stefanie Fladischer

Startsemester: WS 2015/2016

Dauer: 2 Semester

Turnus: jährlich (WS)

Präsenzzeit: 120 Std.

Eigenstudium: 255 Std.

Sprache: Deutsch

### Lehrveranstaltungen:

Es müssen optionale Lehrveranstaltungen in einem Umfang von mind. 4,5 ECTS zusätzlich zu den Pflichtveranstaltungen gewählt werden.

Elektronenmikroskopie I (WS 2015/2016, Vorlesung, 2 SWS, Erdmann Spiecker)

Elektronenmikroskopie II (SS 2016, Vorlesung, 2 SWS, Stefanie Rechberger et al.)

Praktikum Transmissionselektronenmikroskopie (WS 2015/2016, Praktikum, 1,5 SWS, Anwesenheitspflicht, Erdmann Spiecker)

Einführung in die Rasterelektronenmikroskopie (SS 2016, optional, Vorlesung, 2 SWS, Julian Müller et al.)

Blockpraktikum zur Vorlesung "Einführung in die Rasterelektronenmikroskopie" (SS 2016, optional, Praktikum, Anwesenheitspflicht, Erdmann Spiecker)

Mikro- und Nanomechanik (WS 2015/2016, optional, Vorlesung, 2 SWS, Benoit Merle)

Einführung in Nanoindentierung und AFM (SS 2016, optional, Kurs, 1 SWS, Benoit Merle)

### Inhalt:

Elektronenmikroskopie I:

- Beschreibung schneller Elektronen
- Grundlagen der Elektronenoptik
- Komponenten eines TEM
- Wechselwirkung Elektron-Materie
- Elektronenbeugung
- Abbildungsmodi (HF, DF, HRTEM)
- Kontrastentstehung im TEM
- Charakterisierung von Kristalldefekten (Versetzungen, SF, ...)
- Anwendungsbeispiele

Elektronenmikroskopie II:

- Konvergente Elektronenstrahlbeugung (CBED)
- Hochaufgelöste Transmissionselektronen-mikroskopie (HRTEM)
- Rastertransmissionselektronenmikroskopie (STEM): Z-Kontrast
- Elektronentomographie: 3D-Analysen (ET)
- Energiedispersive Röntgenanalyse (EDX): Chemische Analyse auf Nanoskala
- Elektronen-Energie-Verlust-Spektroskopie (EELS) und Energiegefilterte TEM (EFTEM): Chemische Analyse und Untersuchung von Bindungs-eigenschaften
- Anwendungsbeispiele

Rasterelektronenmikroskopie:

- Komponenten eines REM (Quelle, Elektronenoptik, Detektoren), Elektronenstrahl (Aberration - Strahldurchmesser, Konvergenzwinkel - Schärfentiefe)
- Elastische/inelastische Wechselwirkung Elektron-Probe, Wechselwirkungsvolumen, Sekundär-/Rückstreuenelektronen
- Kontrastmechanismen mit Bezug auf die verschiedenen Detektorsysteme (Abhängigkeit von geräte-/materialspezifischen Parametern)
- Elektronenbeugung + spezielle Methoden
- Rastertransmissionsmikroskopie (STEM)
- Quantitative Röntgenspektroskopie
- Präparationsspezifische Probleme
- Anwendungsbeispiele

Mikro/ Nanomechanik:

- Größeneffekte in der Plastizität: Härtungsmechanismen, Dehngradientenplastizität, Eindruckgrößeneffekte
- Mechanische Eigenschaften dünner Schichten, Pillars und Whiskers
- Testverfahren für dünne Schichten: Stoney Gleichung, Bulge Test
- Grenzflächenhaftfestigkeit dünner Schichten
- Elast. Kontaktmechanik: Adhäsion, Hertz, Sneddon
- Plast. Kontaktmechanik: Constraint Faktor
- Nanoindentierung: Oliver/Pharr Methode, dynamische Indentierung

#### Lernziele und Kompetenzen:

Folgende Lernziele werden angestrebt:

- Vertieftes Erlernen mikroskopischer Verfahren zur Untersuchung von Materialien auf kleinen Längenskalen
- Vertieftes Erlernen der vielfältigen Verfahren der Elektronenmikroskopie und deren Anwendung in den Material- und Nanowissenschaften
- Erwerben fundierter Kenntnisse über den Einsatz von Rastersondenverfahren
- Erlernen der Methoden der Nanoindentierung und deren Einsatz zur lokalen Untersuchung von mechanischen Materialeigenschaften
- Erlernen der Einsatzmöglichkeiten hochaufgelöster mikroskopischer Verfahren zur Untersuchung von Nanomaterialien
- Vertiefung der Zusammenhänge zwischen der chemischen Zusammensetzung, der Struktur und den Eigenschaften von Werkstoffen
- erwerben fundierter Kenntnisse über die Grundlagen zum Aufbau der verschiedenen Werkstoffklassen,
- Vertiefung der erlernten Inhalte durch Übungen und praktische Kurse an den Mikroskopen (REM, TEM, AFM)
- Erweiterung des Wissenshorizonts durch angewandte Beispiele und Übungen

#### Literatur:

- Vorlesungsskripte
- Williams & Carter, Transmission Electron Microscopy, Springer Verlag
- Reimer & Kohl, Transmission Electron Microscopy, Springer Verlag
- Fultz & Howe
- Reimer, Scanning Electron Microscopy, Springer Verlag
- Goodhew, Humphreys and Beanland, Electron Microscopy and Analysis, Taylor & Francis
- P. Haasen, Physikalische Metallkunde, Springer Verlag
- G. Gottstein, Physikalische Grundlagen der Materialkunde, Springer Verlag
- Weitere Fachliteratur

---

#### Verwendbarkeit des Moduls / Einpassung in den Musterstudienplan:

Das Modul ist im Kontext der folgenden Studienfächer/Vertiefungsrichtungen verwendbar:

##### [1] Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)

(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Allgemeine Werkstoffeigenschaften | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)

##### [2] Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)

(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffkunde und Technologie der Metalle | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)

##### [3] Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)

(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffkunde und Technologie der Metalle | 3. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M3) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)

##### [4] Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)

(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Glas und Keramik | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)

##### [5] Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)

(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Glas und Keramik | 3. Werkstoffwis-

senschaftliches Modul (M3) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)

- [6] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Korrosion und Oberflächentechnik | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [7] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Korrosion und Oberflächentechnik | 3. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M3) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [8] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Polymerwerkstoffe | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [9] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Polymerwerkstoffe | 3. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M3) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [10] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffe in der Elektrotechnik | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [11] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffe in der Elektrotechnik | 3. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M3) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [12] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffe in der Medizin | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [13] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffe in der Medizin | 3. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M3) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [14] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffsimulation | 2. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M2) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)
- [15] **Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (Master of Science)**  
(Po-Vers. 2010 | Module M1 - M3 (gegliedert nach Kernfächern) | Kernfach Werkstoffsimulation | 3. Werkstoffwissenschaftliches Modul (M3) | Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen)

---

### Studien-/Prüfungsleistungen:

Modulprüfung "Mikroskopie und Nanocharakterisierung von Werkstoffen" (MWT-M2/M3-Mik&NanoChar)  
(Prüfungsnummer: 64001)

Prüfungsleistung, mündliche Prüfung, Dauer (in Minuten): 20

Anteil an der Berechnung der Modulnote: 100%

Erstablingung: SS 2016, 1. Wdh.: WS 2016/2017

1. Prüfer: Erdmann Spiecker

---

### Organisatorisches:

Vergleiche bei den einzelnen Veranstaltungen.

### Bemerkungen:

Vergleiche bei den einzelnen Veranstaltungen.