

# Lehrveranstaltung

## RM - Rastermikroskopie

---

Version: 1 | Letzte Änderung: 30.10.2019 17:00 | Entwurf: 0 | Status: vom verantwortlichen Dozent freigegeben

### ^ Allgemeine Informationen

|                                  |                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Langname</b>                  | Rastermikroskopie                                                                                                                                                                        |
| <b>Anerkennende LModule</b>      | <u>RM_MaET</u>                                                                                                                                                                           |
| <b>Verantwortlich</b>            | Prof. Dr. Stefan Altmeyer<br>Professor Fakultät IME                                                                                                                                      |
| <b>Niveau</b>                    | Master                                                                                                                                                                                   |
| <b>Semester im Jahr</b>          | Wintersemester                                                                                                                                                                           |
| <b>Dauer</b>                     | Semester                                                                                                                                                                                 |
| <b>Stunden im Selbststudium</b>  | 114                                                                                                                                                                                      |
| <b>ECTS</b>                      | 5                                                                                                                                                                                        |
| <b>Dozenten</b>                  | Prof. Dr. Stefan Altmeyer<br>Professor Fakultät IME                                                                                                                                      |
| <b>Voraussetzungen</b>           | Mathematik<br>Differential- und Integralrechnung<br>komplexe Zahlen<br>Vektorrechnung<br>Grundlagen der Differentialgeometrie<br><br>Physik / Optik<br>geometrische Optik<br>Wellenoptik |
| <b>Unterrichtssprache</b>        | deutsch                                                                                                                                                                                  |
| <b>separate Abschlussprüfung</b> | Ja                                                                                                                                                                                       |

Abschlussprüfung

## Details

So weit die Prüfungszahl nicht zu groß ist, wird eine mündliche Prüfung gegenüber einer schriftlichen Prüfung bevorzugt.

In der Prüfung werden in geringem Umfang das unterste Kompetenzniveau der Kenntnisse adressiert. Das sind beispielsweise die verschiedenen Kathoden-Formen in der Elektronenmikroskopie, die zu unterschiedlichen Geräteklassen führen oder die unterschiedlichen Bauformen konfokaler Messsysteme.

Auf nächster Kompetenzstufe werden Fertigkeiten geprüft. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass die Skizze eines Aufbaus gezeigt wird und die zu prüfende Person diesen gedanklich in Funktionsgruppen zerlegen kann und die jeweiligen kritischen Punkte identifizieren kann. Eine andere prüfbare Fertigkeit wäre beispielsweise, ausgehend von der Lorenz-Kraft vorzurechnen, warum geladene Teilchen im Magnetfeld keine Energie aufnehmen oder abgeben.

Die höchste prüfbare Kompetenzstufe betrifft die Methodenkompetenz. Deren Ausprägung kann überprüft werden, indem ein Anwendungsfall geschildert wird: Eher wissenschaftlich orientierte Aufgaben können sein, die Frage begründet zu beantworten, ob beim Design eines Elektronenmikroskopes mit einer bestimmten Beschleunigungsspannung relativistisch gerechnet werden muss oder nicht. Eine weitere Frage könnte sein, ob und warum bei gegebenen Kathodensystemen Quanteneffekte auftreten oder aber nicht. Eher praktisch orientierte Fragen könnten eine Anwendungs-Fragestellung zur 3D Messtechnik betreffen und es soll qualifiziert argumentiert werden, welche Messverfahren zum Einsatz kommen können und warum, und welche nicht. In einer geführten Diskussion kann dabei sehr genau festgestellt werden, ob die zugrundeliegenden Prinzipien sicher und proaktiv angewandt werden, ob Querschlüsse gezogen werden können und ob in einer Zusammenschau mit hinreichendem Überblick gedacht und agiert wird.

## Mindeststandard

Mindestens 50 % der Fragen richtig beantwortet

## Prüfungstyp

So weit die Prüfungszahl nicht zu groß ist, wird eine mündliche Prüfung gegenüber einer schriftlichen Prüfung bevorzugt.

In der Prüfung werden in geringem Umfang das unterste Kompetenzniveau der Kenntnisse adressiert. Das sind beispielsweise die verschiedenen Kathoden-Formen in der Elektronenmikroskopie, die zu unterschiedlichen Geräteklassen führen oder die unterschiedlichen Bauformen konfokaler Messsysteme.

Auf nächster Kompetenzstufe werden Fertigkeiten geprüft. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass die Skizze eines Aufbaus gezeigt wird und die zu prüfende Person diesen gedanklich in Funktionsgruppen zerlegen kann und die jeweiligen kritischen Punkte identifizieren kann. Eine andere prüfbare Fertigkeit wäre beispielsweise, ausgehend von der Lorenz-Kraft vorzurechnen, warum geladene Teilchen im Magnetfeld keine Energie aufnehmen oder abgeben.

Die höchste prüfbare Kompetenzstufe betrifft die Methodenkompetenz. Deren Ausprägung kann überprüft werden, indem ein Anwendungsfall geschildert wird: Eher wissenschaftlich orientierte Aufgaben können sein, die Frage begründet zu beantworten, ob beim Design eines Elektronenmikroskopes mit einer bestimmten Beschleunigungsspannung relativistisch gerechnet werden muss oder nicht. Eine weitere Frage könnte sein, ob und warum bei gegebenen Kathodensystemen Quanteneffekte auftreten oder aber nicht. Eher praktisch orientierte Fragen könnten eine Anwendungs-Fragestellung zur 3D Messtechnik betreffen und es soll qualifiziert argumentiert werden, welche Messverfahren zum Einsatz kommen können und warum, und welche nicht. In einer geführten Diskussion kann dabei sehr genau festgestellt werden, ob die zugrundeliegenden Prinzipien sicher und proaktiv angewandt werden, ob Querschlüsse gezogen werden können und ob in einer Zusammenschau mit hinreichendem Überblick gedacht und agiert wird.

## ^ Vorlesung / Übungen

## Lernziele

---

## Kenntnisse

Elektronenmikroskopie  
Welle-Teilchen-Dualismus von Elektronen und de Broglie Wellenlänge  
relativistischer Massenzuwachs  
Auflösungsvermögen Elektronen-optischer Systeme  
Tiefenschärfe im Elektronenmikroskop  
Elektronenemission  
Physik der Elektronenemission  
thermoionische Emission  
Schottky-Emission  
Feldemission  
technischer Aufbau von Elektronenemittern  
Brightness als Erhaltungsgröße im Elektronenstrahl  
magnetische Ablenklichkeiten  
Fokussierlinsen  
Bewegungsgleichung von Elektronen in Fokussierlinsen  
Ansätze zur Minimierung von Abbildungsfehlern in elektronenoptischen Systemen  
Scansysteme  
Elektron-Materie-Wechselwirkung  
Primärelektronen  
Sekundärelektronen  
Auger-Elektronen  
Röntgen-Kontinuum  
Charakteristische Röntgenstrahlung  
Kathodolumineszenz  
Everhart-Thornley Detektor  
Elektronen-Kontraste  
Topographie-Kontrast  
Material-Kontrast  
Gitterorientierungs-Kontrast  
Leitfähigkeitskontrast  
Anwendungsfälle und Grenzen

Tunnelmikroskopie  
Wellenfunktion  
Definition  
Stetigkeit und stetige Differenzierbarkeit  
Wahrscheinlichkeitsinterpretation  
Prinzip  
Potentialdiagramm  
Ferminiveau  
Austrittsarbeit  
quantenmechanische Berechnung der Tunnelwahrscheinlichkeit  
vorgespannte Tunnelbarriere und WKB Näherung  
Piezoantriebe  
physikalische Grundlagen  
Nichtlinearität, Hysterese, creep  
Grundzüge der Regelungstechnik im Tunnelmikroskop  
Präparation von Tunnelspitzen  
Bild als Messsignal  
Faltung von Objekt und Spitze  
Gitterauflösung und atomare Auflösung  
Anwendungsfälle und Grenzen

Kraftmikroskop

Aufbau

Typen: contact mode, non contact mode, tapping mode, magnetic mode etc.

Anwendungsfälle und Grenzen

konfokale Mikroskopie

Prinzip der konfokalen Blenden

Prinzip des optischen Schneidens

laterale Auflösung und axiale Auflösung

Pupillenausleuchtung und Überstrahlung beim konfokalen LSM

Justageproblematik

Nipkow-Scheibe

Justagefreiheit

Probleme der Lichtausbeute und Reflexionen

rotierendes Mikrolinsenarray

konfokale Farblängsfehler-Sensoren

Anwendungsfälle und Grenzen

---

## Fertigkeiten

Elektronenmikroskopie

klassische und relativistische Elektronengeschwindigkeit berechnen

Wellenlänge von Elektronen berechnen

Auflösungsvermögen eines elektronenoptischen Systems berechnen

die unterschiedlichen Regime der Elektronenemission erläutern

die verschiedenen Elektron-Materie Wechselwirkungen erklären

die verschiedenen Elektronenlinsen skizzieren und erklären

den Aufbau eines Everhart-Thornley Detektors skizzieren und erklären

Tiefenschärfe einer Aufnahme berechnen

Tunnelmikroskopie

das Potential-Ort Diagramm für einen Tunnelprozess skizzieren und erläutern

den Ansatz zur Berechnung der Tunnelwahrscheinlichkeit darstellen

den Unterschied zwischen atomarer- und Gitterauflösung erklären

konfokale Mikroskopie

für gegebene laterale und axiale Auflösung die erforderlichen Pinholes dimensionieren

## Aufwand Präsenzlehre

| Typ                      | Präsenzzeit (h/Wo.) |
|--------------------------|---------------------|
| Vorlesung                | 0                   |
| Übungen (ganzer Kurs)    | 0                   |
| Übungen (geteilter Kurs) | 0                   |
| Tutorium (freiwillig)    | 0                   |

# Separate Prüfung

keine

## ^ Praktikum

### Lernziele

---

#### Fertigkeiten

Justage und Benutzung von  
Elektronenmikroskopen  
Tunnelmikroskopen  
Kraftmikroskopen  
konfokalen Mikroskopen

Messtechnische Aufgaben bearbeiten  
Höhenmessungen  
3D Topographien messen  
Rauheiten Analysieren  
Strukturen analysieren  
Ultimative Auflösungsgrenzen finden

Interpretation von messtechnischen Befunden

### Aufwand Präsenzlehre

| Typ                   | Präsenzzeit (h/Wo.) |
|-----------------------|---------------------|
| Praktikum             | 2                   |
| Tutorium (freiwillig) | 0                   |

# Separate Prüfung

#### Prüfungstyp

Projektaufgabe im Team bearbeiten (z.B. im Praktikum)

#### Details

Begleitung der messtechnischen Fragestellungen bei der Durchführung.

Prüfung des theoretischen Hintergrundes im Hinblick auf das jeweilige Funktionsprinzip der Messgeräte und der Problematik des Anwendungsfalls.

Überprüfung der gewonnen Ergebnisse im Hinblick auf technisch versierte Durchführung, Wissenschaftlichkeit der Analyse und Interpretation.

#### Mindeststandard

Alle Versuche durchgeführt.

Bei allen Versuchen ein Verständnislevel, dass den alleinigen Umgang mit den Geräten erlaubt.

Mindestens 50 % der Bilder und Messergebnisse würden im Rahmen einer Aufgabenstellung in der Industrie oder Wissenschaft Anerkennung finden, in dem Sinne, dass die Aufgabe als gelöst gilt.