

# Lehrveranstaltungshandbuch RM

Rastermikroskopie

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

## – Allgemeine Informationen

**Langname** Rastermikroskopie

**Anerkennende  
LModule** RM MaET

**Verantwortlich** Prof. Dr. Stefan  
Altmeyer  
Professor Fakultät IME

**Gültig ab** Wintersemester  
2020/21

**Niveau** Master

**Semester im Jahr** Wintersemester

**Dauer** Semester

**Stunden im  
Selbststudium** 114

**ECTS** 5

**Dozenten** Prof. Dr. Stefan  
Altmeyer  
Professor Fakultät IME

**Voraussetzungen** Mathematik  
Differential- und  
Integralrechnung  
komplexe Zahlen  
Vektorrechnung  
Grundlagen der  
Differentialgeometrie

Physik / Optik  
geometrische Optik  
Wellenoptik

**Unterrichtssprache** deutsch

## Literatur

Reimer: Scanning Electron Microscopy (Springer)

Meyer, Hug, Bennewitz: Scanning Probe  
Microscopy (Springer)

Wilhelm, Gröbler, Gluch, Heinz: Die konfokale Laser  
Scanning Mikroskopie (Carl Zeiss)

## 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.

separate  
Abschlussprüfung

Ja

Auf nächster Kompetenzstufe werden Fertigkeiten geprüft. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass die Skizze eines Aufbaus gezeigt wird und die 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**

mündliche Prüfung, strukturierte Befragung

## – Vorlesung / Übungen

### Lernziele

Zieltyp	Beschreibung
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 Ablenkeinheiten 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 Kathodoluminiszenz 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 Fermi-niveau Austrittsarbeit

### Besondere Voraussetzungen

keine

<b>Begleitmaterial</b>	Skript als herunterladbare Datei
------------------------	-------------------------------------

<b>Separate Prüfung</b>	Nein
-------------------------	------

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

## – Praktikum

### Lernziele

Zieltyp	Beschreibung
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

### Besondere Voraussetzungen

keine

**Begleitmaterial** keines

**Separate Prüfung** Ja

### 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, das 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.