



UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

# Modulhandbuch

## Master NanoEngineering PO12

Stand: 20.10.2015

# **Impressum**

Universität Duisburg-Essen

Fakultät für Ingenieurwissenschaften

Programmverantwortlicher: Prof. Dr. rer. nat. Gerd Bacher

Straße: Bismarckstraße 81

Ort: 47057 Duisburg

Tel: 379-3406

Fax: 379-3404

Email: [gerd.bacher@uni-due.de](mailto:gerd.bacher@uni-due.de)

# Inhaltsverzeichnis

Impressum .....	2
1 Beschreibung des Studiengangs .....	5
2 Regelstudienplan .....	6
3 Curriculum des Master-Studiengangs NanoEngineering (Vollzeitstudiengang) .....	8
4 Curriculum des Master-Studiengangs NanoEngineering (Teilzeitstudiengang) .....	10
5 Wahlpflichtkataloge des Master-Studiengangs NanoEngineering .....	12
6 Erläuterungen zu den Modulbeschreibungen .....	14
7 Beschreibung der Module.....	15
Advances (and surprises) in electrodynamics .....	17
Auslandsforschungsprojekt .....	19
Computational Electromagnetics 1.....	21
Computational Electromagnetics 2.....	23
Dielektrische und magnetische Materialeigenschaften .....	25
Einführung in die Automatisierungstechnik (Nano) .....	27
Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik .....	29
Fluiddynamik.....	31
Grundlagen der Oberflächenphysik.....	33
Kolloidprozesstechnik .....	35
Lasermaterialbearbeitung: Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung .....	37
Lasertechnik.....	39
Master-Arbeit.....	41
Materialwissenschaften - Polymere .....	43
Mathematik E4 .....	45
Membrantechnologie .....	47
Messtechnik nanodisperser Systeme .....	49
Mikro- und Nanosystemtechnik .....	51
Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik.....	53
Nachhaltige Nanotechnologie.....	55
Nanoelektronik .....	57
Nanokristalline Materialien .....	59
Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik.....	61
Nanopartikel-Entstehungsvorgänge.....	63
Nanostrukturierung 1 .....	65
Nanostrukturierung 2 .....	67

Nichttechnischer Wahlpflichtbereich Nano Master .....	69
Optische Signalverarbeitung .....	71
Organische Elektronik und Optoelektronik.....	73
Photovoltaik 1 .....	75
Photovoltaik 2 .....	77
Projekt Master NanoEngineering .....	79
Quantentheorie .....	81
Repetitorium der Maxwellschen Theorie .....	83
Rheologie 1 .....	85
Rheologie 2 .....	87
Silizium-Halbleiterfertigung .....	89
Struktur der Materie .....	91
Test und Zuverlässigkeit digitaler Systeme .....	93
Theoretische Elektrotechnik 1.....	95
Theoretische Elektrotechnik 2.....	97
Thermoelektrik .....	99
Wahlpflichtbereich Nano Master .....	101

# 1 Beschreibung des Studiengangs

Die Nanotechnologie ist die Herstellung und Nutzung von Strukturen, die in mindestens einer Dimension kleiner als 100 nm (0,0000001 m) sind. Entscheidend dabei ist, dass allein aus der Dimension der Systemkomponenten neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder zur Entwicklung neuer Produkte entstehen. Das Gebiet Nanowissenschaft und Nanotechnologie hat sich in den letzten Jahrzehnten außerordentlich dynamisch und stark fachübergreifend entwickelt. Die Nanotechnologie ist zu einer Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts geworden.

Ihr umfangreiches Anwendungspotential kann wirtschaftlich nur dann genutzt werden, wenn die in der Grundlagenforschung entdeckten „Nanoeffekte“ und die entsprechenden neuen Eigenschaften von Nanomaterialien und Nanostrukturen in industrielle Produkte umgesetzt werden. Das Vordringen in die Welt der elementarsten Bausteine ist dabei eine Herausforderung, die immer neue, immer weitere, faszinierende Möglichkeiten für neue Produkte und Märkte offenbaren wird. Diese Übertragung ist eine ingenieurwissenschaftliche Aufgabe, zu der Studierende des Master-Studiengangs „NanoEngineering“ ausgebildet werden.

Der Master-Studiengang besteht aus zwei Vertiefungsrichtungen, Nanoprozesstechnologie und Nanoelektronik/Nanooptoelektronik. Beiden Richtungen sind einige Veranstaltungen gemeinsam, in denen vor allem erweiterte Grundlagen erarbeitet werden.

In der Vertiefungsrichtung Prozesstechnik werden die theoretischen Methoden und experimentellen Verfahren behandelt, die bei der Herstellung, Verarbeitung und Produktion in der Nanotechnologie wichtig sind.

In der Vertiefungsrichtung Nanoelektronik/Nanooptoelektronik werden die theoretischen und experimentellen Fragestellungen behandelt, die für den Einsatz von Nanostrukturen in elektronischen und optoelektronischen Systemen und zur Charakterisierung von Nanomaterialien und nanostrukturierten Bauelementen wichtig sind.

Mit Hilfe der Veranstaltungen der beiden Vertiefungsrichtungen werden sowohl stark abstrakte theoretische als auch komplexe experimentelle Methoden erarbeitet und die Studierenden mit den modernen, aktuellen Fragestellungen der Nanotechnologie sowie deren Anwendungen in der Prozesstechnik und Elektronik/Optoelektronik vertraut gemacht.

Das 4-semestrige Master-Studium umfasst 120 Credits. Davon entfallen 90 auf die Fächer des Pflicht- und Wahlpflichtbereichs und 30 auf die Master-Arbeit. Alle Prüfungen sind studienbegleitend - in Form von schriftlichen Klausuren oder mündlichen Prüfungen - abzulegen. Der Prüfungszeitraum liegt in jedem Semester nach dem Ende des Vorlesungszeitraums. Am Ende des Studiums ist eine Master-Arbeit anzufertigen.

# 2 Regelstudienplan

Die Studienpläne für die **Vertiefungsrichtungen Nanoprozess-Technologie und Nanoelektronik/ Nanooptoelektronik** sind den untenstehenden Tabellen zu entnehmen. Die Spalten der Tabelle haben folgende Bedeutung:

Spalte 1 (Name):	fett: Name des Moduls oder Name des Wahlpflichtbereichs nicht fett: Name der einzelnen Lehrveranstaltung
Spalten 2-5 (V Ü P S):	Semesterwochenstunden (SWS) für Vorlesung (V), Übung (Ü), Praktikum (P), Seminar und Projekt (S) bei (S) nicht in SWS angegeben sind das Projekt (Pr) und die Masterarbeit (MA)
Spalte 6 (Cr.):	ECTS-Credits
Spalte 7 (P/S):	P = Prüfungsleistung, S = Studienleistung
Spalte 8 (VZ Sem):	Semester im Fall des Vollzeitstudiengangs
Spalte 9 (TZ Sem):	Semester im Fall des Teilzeitstudiengangs

## Master NanoEngineering, Vertiefungsrichtung Nanoprozess-Technologie

Name	V	Ü	P	S	Cr.	P/S	SWS	VZ Sem	TZ Sem
<b>Mathematik E4</b>	2	1			<b>5</b>	P	1	1	
<b>Fluidodynamik</b>	2	1			<b>5</b>	P	1	1	
<b>Grundlagen der Oberflächenphysik</b>	2	1			<b>4</b>	P	1	1	
<b>Nanokristalline Materialien</b>	2		1		<b>4</b>	P	1	3	
<b>Kolloidprozesstechnik</b>	2	1			<b>4</b>	P	1	3	
<b>Nanopartikel-Entstehungsvorgänge</b>	2	1			<b>4</b>	P	1	3	
<b>Dielektr. und magnet. Materialeigenschaften</b>	2	1			<b>4</b>	P	2	2	
<b>Messtechnik nanodisperser Systeme</b>	2	1			<b>4</b>	P	2	4	
<b>Aerosolprozesstechnik</b>	2	1			<b>4</b>	P	2	4	
<b>Einführung in die Automatisierungstechnik (Nano)</b>	2	1			<b>5</b>	P	2	2	
<b>Projekt Master NanoEngineering</b>				6r	<b>9</b>	S	3	5	
<b>Wahlpflichtbereich Nano Master (formal 6 Module)</b>									
Technisches Wahlpflichtfach 1**)	2	1			<b>4</b>	P	2	4	
Technisches Wahlpflichtfach 2**)	2	1			<b>4</b>	P	2	4	
Technisches Wahlpflichtfach 3**)	2	1			<b>4</b>	P	2	5	
Technisches Wahlpflichtfach 4**)	2	1			<b>4</b>	P	3	5	
Technisches Wahlpflichtfach 5**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6	
Technisches Wahlpflichtfach 6**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6	
Technisches Wahlpflichtfach 7**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6	
Technisches Wahlpflichtfach 8**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6	
<b>Nichttechnischer Wahlpflichtbereich Nano Master*)</b>					<b>6</b>				
nichttechnisches Wahlpflichtfach 1*)	2				2	S	1	2	
nichttechnisches Wahlpflichtfach 2*)	2				2	S	1	2	
nichttechnisches Wahlpflichtfach 3*)	2				2	S	1	3	
<b>Master-Arbeit (einschl. Kolloquium)</b>				MA	<b>30</b>	P	4	7	
<b>Summe</b>	<b>42</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>120</b>	P	4	7	

\*) im nichttechnischen Wahlpflichtbereich (formal 1 Modul) insgesamt 6 ECTS-Credits  
nach den Vorgaben des Wahlpflichtkatalogs M-NWP

\*\*) im technischen Wahlpflichtbereich insgesamt 32 Credits aus dem Wahlpflichtkatalog M-TWP

**Master NanoEngineering, Vertiefungsrichtung Nanoelektronik/Nanooptoelektronik**

Name	SWS				Cr.	P/S	VZ Sem	TZ Sem
	V	Ü	P	S				
<b>Mathematik E4</b>	2	1			<b>5</b>	P	1	1
<b>Theoretische Elektrotechnik 1</b>	2	2			<b>6</b>	P	1	1
<b>Grundlagen der Oberflächenphysik</b>	2	1			<b>4</b>	P	1	3
<b>Quantentheorie</b>	2	1			<b>5</b>	P	1	1
<b>Nanoelektronik</b>	2	1			<b>4</b>	P	1	3
<b>Theoretische Elektrotechnik 2</b>	2	2			<b>6</b>	P	2	2
<b>Dielektr. und magnet. Materialeigenschaften</b>	2	1			<b>4</b>	P	2	4
<b>Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik</b>	2			1	<b>4</b>	P	2	4
<b>Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik</b>	2		1		<b>5</b>	P	2	4
<b>Projekt Master NanoEngineering</b>				6	<b>9</b>	S	3	5
<b>Wahlpflichtbereich Nano Master</b>								
Technisches Wahlpflichtfach 1**)	2	1			<b>4</b>	P	2	2
Technisches Wahlpflichtfach 2**)	2	1			<b>4</b>	P	2	2
Technisches Wahlpflichtfach 3**)	2	1			<b>4</b>	P	2	3
Technisches Wahlpflichtfach 4**)	2	1			<b>4</b>	P	3	5
Technisches Wahlpflichtfach 5**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6
Technisches Wahlpflichtfach 6**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6
Technisches Wahlpflichtfach 7**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6
Technisches Wahlpflichtfach 8**)	2	1			<b>4</b>	P	3	6
<b>Nichttechnischer Wahlpflichtbereich Nano Master*)</b>					<b>6</b>			
Nichttechnisches WP-Fach 1*)	2				2	S	1	3
Nichttechnisches WP-Fach 2*)	2				2	S	2	4
Nichttechnisches WP-Fach 3*)	2				2	S	3	5
<b>Master-Arbeit</b> (einschl. Kolloquium)				MA	<b>30</b>	P	4	7
<b>Summe</b>	<b>40</b>	<b>17</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>120</b>	P	4	7

\* ) im nichttechnischen Wahlpflichtbereich (formal 1 Modul) insgesamt 6 ECTS-Credits  
nach den Vorgaben des Wahlpflichtkatalogs M-NWP

\*\*) im technischen Wahlpflichtbereich insgesamt 32 Credits aus dem Wahlpflichtkatalog M-TWP

# 3 Curriculum des Master-Studiengangs NanoEngineering (Vollzeitstudiengang)

## Nanoprozess-Technologie

SWS	1. Sem.	2. Sem.	3. Sem.	4. Sem.
1	<b>Mathematik E4</b>	<b>Dielektri. und magnet. Materialeigenschaften</b>	<b>Projekt Master NanoEngineering</b>	<b>Master-Arbeit</b>
2	5	4		
3				
4	<b>Grundlagen der Oberflächenphysik</b>	<b>Einführung in die Automatisierungs- technik (Nano) 5</b>	9	
5	4			
6				
7	<b>Nanopartikel- Entstehungsvorgänge</b>	<b>Aerosolprozesstechnik</b>	<b>TW4</b>	
8	4	4	4	
9				
10	<b>Kolloidprozesstechnik</b>	<b>Messtechnik nanodispers. Systeme</b>	<b>TW5</b>	
11	4	4	4	
12				
13	<b>Fluiddynamik</b>	<b>TW1</b>	<b>TW6</b>	
14	5	4	4	
15				
16	<b>Nanokristalline Materialien</b>	<b>TW2</b>	<b>TW7</b>	
17	4	4	4	
18				
19	<b>NTW1</b>	<b>TW3</b>	<b>TW8</b>	
20	2	4	4	
21	<b>NTW2</b>			
22	2		<b>NTW3</b>	30
23			2	

22SWS/30Cr.

21SWS/29Cr.

23SWS/31Cr.

30Cr.

Die technischen und nichttechnischen Wahlfächer können auch alternativ auf die Semester verteilt werden.

## Nanoelektronik/Nanooptoelektronik

SWS	1. Sem.	2. Sem.	3. Sem.	4. Sem.
1	<b>Mathematik E4</b>	<b>Dielektri. und magnet. Materialeigenschaften</b>	<b>Projekt Master NanoEngineering</b>	<b>Master-Arbeit</b>
2	5	4		
3				
4	<b>Grundlagen der Oberflächenphysik</b>	<b>Theore. Elektrotech. 2</b>		
5	4	6		
6				
7	<b>Theore. Elektrotech. 1</b>	<b>Nanooptoelektronik und Nanophotonik</b>	<b>TW4</b>	
8	6	4	4	
9				
10	6		<b>TW5</b>	
11	<b>Quantentheorie</b>	<b>Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik</b>		
12	5	5		
13			<b>TW6</b>	
14	<b>Nanoelektronik</b>	<b>TW2</b>		
15	4	4		
16			<b>TW7</b>	
17	<b>TW1</b>	<b>TW3</b>		
18	4	4		
19			<b>TW8</b>	
20	<b>NTW1</b>	<b>NTW2</b>		
21	2	2		
22			<b>NTW3</b>	30
23			2	

21SWS/30Cr.

21SWS/29Cr.

23SWS/31Cr.

30Cr.

Die technischen und nichttechnischen Wahlfächer können auch alternativ auf die Semester verteilt werden.

# 4 Curriculum des Master-Studiengangs NanoEngineering (Teilzeitstudiengang)

## Nanoprozess-Technologie

SWS	1. Sem.	2. Sem.	3. Sem.	4. Sem.	5. Sem.	6. Sem.	7. Sem.
1	Mathematik E4						Master-Arbeit
2		Dielektri. und magnet. Materialeigenschaften				TW 5	
3	5	4				4	
4	Grundlagen der Oberflächenphysik	Einführung in die Automatisierungstechnik	Kolloidprozesstechnik	Aerosolprozesstechnik		TW 6	
5	4	5	4	4			
6							
7	Fluidodynamik	NTW 1	Nanopartikel-Entstehungsvorgänge	TW 1	TW 3	TW 7	
8		2	4	4	4	4	
9	5	NTW 2	NTW 3	TW 2	TW 4	TW 8	
10		2	2				
11				4	4	4	
12							30

9SWS/14Cr.            10SWS/13Cr.            11SWS/14Cr.            12SWS/16Cr.            12SWS/17Cr.            12SWS/16Cr.            30Cr.

Die technischen und nichttechnischen Wahlfächer können auch alternativ auf die Semester verteilt werden.

## Nanoelektronik/Nanooptoelektronik

SWS	1. Sem.	2. Sem.	3. Sem.	4. Sem.	5. Sem.	6. Sem.	7. Sem.
1	<b>Mathematik E4</b>	<b>Theore. Elektrotech. 2</b>	<b>Grundlagen der Oberflächenphysik</b>	<b>Dielektri. und magnet. Materialeigenschaften</b>	<b>Projekt</b>	<b>TW5</b>	<b>Master-Arbeit</b>
2	5	6	4	4		4	
3							
4	<b>Theore. Elektrotech. 1</b>	<b>TW1</b>	<b>Nanoelektronik</b>	<b>Nanooptoelektronik und Nanophotonik</b>		<b>TW6</b>	
5	6	4	4	4	9	4	
6							
7	6	4	<b>TW3</b>	<b>Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik</b>	<b>TW4</b>	<b>TW7</b>	
8	<b>Quantentheorie</b>	<b>TW2</b>	4	5	4	4	
9							
10	5	4	<b>NTW1</b>	<b>NTW2</b>	<b>NTW3</b>	<b>TW8</b>	
11			2	2	2	4	
12							30Cr.

10SWS/16Cr.                    11SWS/14Cr.                    11SWS/15Cr.                    11SWS/15Gr.                    12SWS/16Cr.                    30Cr.

Die technischen und nichttechnischen Wahlfächer können auch alternativ auf die Semester verteilt werden.

# 5 Wahlpflichtkataloge des Master-Studiengangs NanoEngineering

Diese Kataloge zeigen lediglich das derzeitige Angebot (Stand 28.03.2013). Sie können semesterweise vom Prüfungsausschuss geändert werden. Die Anzahl der auszuwählenden Fächer und weitere Bedingungen ergeben sich aus der Prüfungsordnung.

## Hinweis:

Alle nichttechnischen Wahlfächer gelten als Studienleistungen, so dass keine Anmeldung beim Prüfungsamt erfolgen muss. Lediglich im Erfolgsfall wird das Ergebnis an das Prüfungsamt weitergeleitet (§21 Prüfungsordnung Master-Studiengang NanoEngineering).

Alle technischen Wahlfächer gelten als Prüfungsleistungen und sind wie diese zu behandeln, insbesondere ist eine Anmeldung beim Prüfungsamt erforderlich (§18 Prüfungsordnung Master-Studiengang NanoEngineering).

Es gelten die Fächer in der Reihenfolge der Anmeldung. Sollten die Fächer als Zusatzfächer gemäß § 30 der Prüfungsordnung Master-Studiengang NanoEngineering gewertet werden, teilen Sie dies bitte dem Prüfungsamt vor der Prüfung mit!

## Katalog NWP\_Master (nichttechnische Wahlpflichtfächer im Master-Studiengang NanoEngineering)

Insgesamt 6 Credits sind durch Studienleistungen aus dem folgenden Angebot zu erbringen:

### Ingenieurwissenschaftlich orientierte Fächer (mindestens 2 Credits)

- Projekt management (Böhm, V2, WS, 2 Credits)
- Innovationsmanagement (Böhm, V2, SS, 2 Credits)
- How to protect your innovations? (Nobbe, V2, WS, 2 Credits)
- Small Business Management (Breithecker, weitere Infos siehe [www.sbm-duisburg.de](http://www.sbm-duisburg.de))

### Frei wählbare andere Fächer (maximal 4 Credits)

• andere Fächer  
inhaltlich nicht aus Ingenieurwissenschaften, Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften; sonst frei aus dem Angebot der Universität wählbar.

Z.B.: <http://www.uni-due.de/ios/> bzw. Vorlesungsverzeichnis (LSF) / Ergänzungsbereich;

bei diesen Angeboten ist die Teilnehmerzahl begrenzt und eine Anmeldung ist erforderlich.

Die dort angegebenen Zuordnungen E1, E2, E3 sind nicht relevant.

## Katalog WP\_Master (technische Wahlpflichtfächer im Master-Studiengang NanoEngineering)

Durch Prüfungsleistungen in technischen Wahlpflichtfächern sind insgesamt 32 Credits zu erbringen, davon mindestens 24 Credits aus dem Katalog WP\_Master, die weiteren Credits

aus frei wählbaren technischen Fächern anderer ingenieurwissenschaftlicher, physikalischer oder chemischer Master-Studiengänge der Hochschule.

Alle Fächer der jeweils anderen Vertiefungsrichtung (sofern nicht Pflichtfach in der eigenen Vertiefungsrichtung) und zusätzlich:

- Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik (Mertin, V2 Ü1, WS, 4 Credits)
- Lasertechnik (Stöhr, V2 Ü1, WS, 4 Credits)
- Nanostrukturierung 1 (Tegude, V2 Ü1, WS, 3 Credits)
- Nanostrukturierung 2 (Schmechel V2 Ü1, SS, 3 Credits) Findet im Sommersemester 2015 nicht statt!
- Mikro- und Nanosystemtechnik (Vogt, V2 Ü1, SS, 4 Credits)
- Test und Zuverlässigkeit digitaler Systeme (Hunger, V2, Ü1, WS, 4 Credits)
- Silizium-Halbleiterfertigung (Vogt, V2 Ü1, WS, 3 Credits)
- Membrane Technologies (Ulbricht, V2, WS, 3 Credits)
- Materialwissenschaften - Polymere - (Ulbricht, V2, Ü1, SS, 5 Credits)
- Nachhaltige Nanotechnologie (Kuhlbusch, V2, Ü1, WS, 4 Credits)
- Organische Elektronik und Optoelektronik (Schmechel, V2, Ü1, SS, 4 Credits)
- Optische Signalverarbeitung (Buß, V2, Ü1, SS deutsch, WS englisch, 4 Credits)
- Computational Electromagnetics 1 (Rennings, V2, Ü1, WS, 4 Credits)
- Computational Electromagnetics 2 (Rennings, V2, Ü1, SS, 4 Credits)
- Rheologie 1 (Shahnazian, V2, Ü1, WS, 4 Credits)
- Rheologie 2 (Shahnazian, V2, Ü1, SS, 4 Credits)
- Thermoelektrik (Schmechel, Wolf, u.a., V2, WS, 3 Credits)
- Photovoltaik 1 (Schmechel, Benson, V2, Ü1, SS, 4 Credits)
- Photovoltaik 2 (Kirchartz, V2, S2, WS, 5 Credits)
  
- Advances (and Surprises) in Electrodynamics (Erni, V2, SS, 3 Credits)
- Repetitorium der Maxwellschen Theorie (Mathematische und physikalische Grundlagen der Elektromagnetischen Feldtheorie)  
(Waldow, V2, SS, 3 Credits) (Anmeldung erforderlich: waldow@imst.de)
- Quantitative bildgebende Messtechniken in Strömungen (Kaiser, V2, Ü1, P1, WS, 4 Credits)
- Laseroptische Messverfahren für reaktive Strömungsprozesse (Dreier, Schulz, V2, Ü1, SS, 3 Credits)
- Auslandsforschungsprojekt (Bacher, Winterer, Mertin, WS/SS, 4 Credits (max. 3 Monate) + 3 Credits für schriftliche Ausarbeitung und Vortrag in englischer Sprache)
- Struktur der Materie (Farle, SS, 4 Credits)
- Lasermaterialbearbeitung: Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung (Wagener, Barcikowski, Hasselbrink, Hartmann, V2, S1, WS, 4 Credits)

# **6 Erläuterungen zu den Modulbeschreibungen**

## **Erläuterungen**

In Teil 7 sind alle Module und Wahlpflichtbereiche beschrieben. In den Modulbeschreibungen sind die zugehörigen Lehrveranstaltungen aufgeführt. Unter „Semester“ steht dort eine Zahl, die das reguläre Semester angibt, zu dem die Lehrveranstaltung nach Regelstudienplan des Vollzeitstudiums besucht werden soll. Für ein Teilzeitstudium ist das reguläre Semester im Regelstudienplan (Kapitel 2) angegeben. Die Angabe WS (Wintersemester) oder SS (Sommersemester) informiert darüber, in welchen Semestern die Lehrveranstaltung angeboten wird.

Wahlpflichtbereiche sind keine Module. Vielmehr sind in ihnen die technischen bzw. nichttechnischen Wahlpflichtfächer zusammengefasst, die aus Katalogen zu wählen sind. Die Wahlpflichtkataloge werden jedes Semester vom Prüfungsausschuss aktualisiert. Die Anzahl der zu wählenden Fächer ist nicht festgelegt, sondern die Anzahl der zu erreichen- den Credits. In jedem Fach ist eine Prüfungsleistung bzw. (bei nichttechnischen Fächern) eine unbenotete Studienleistung zu erbringen. Insofern kann jedes Wahlpflichtfach als ein separates Modul betrachtet werden.

Als „Lehrender bzw. Lehrende“ ist NN angegeben, wenn die Studierenden sich den Be- treuer bzw. die Betreuerin aussuchen können.

## **Verwendete Abkürzungen**

### *allgemein*

Cr. Anrechnungspunkte (Credits)

SWS Semesterwochenstunden

SS Sommersemester

WS Wintersemester

### *In der Spalte SWS:*

V Vorlesung

Ü Übung

P Praktikum

S Sonstiges (z.B. Seminar)

### *In der Spalte Arbeitsaufwand:*

E Eigenstudium

P Präsenz

## **7 Beschreibung der Module**

Alle Module (und Wahlpflichtbereiche) sind im Folgenden in alphabetischer Reihenfolge angeordnet. Eine Übersicht ist im Inhaltsverzeichnis (am Anfang des Modulhandbuchs) zu finden.



<b>Modulname</b>
<b>Advances (and surprises) in electrodynamics</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. sc. techn. Daniel Erni
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. sc. techn. Daniel Erni

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Advances (and surprises) in electrodynamics	2 (SS)	2 (V)	30 (P) + 60 (E) = 90	3
<b>Summe</b>			<b>2</b>	<b>90</b>	<b>3</b>

<b>Beschreibung</b>
Do you believe that an electromagnetic pulse can travel faster than light? Is it possible to hide an object from our sight just by using a magic cap? What is the fundamental reason behind (electromagnetic) wave dispersion? We are happy to tell you the answer.
This postgraduate course is organized in the sense of an advanced research seminar, where we intend to challenge the established picture of electrodynamics while highlighting novel (seemingly contradicting) outcomes of current research in e.g. electromagnetics, nanophotonics, physical optics, and in the field of electromagnetic/optical metamaterials.
Our aim is to cultivate a sort of scientific attitude by organizing vivid discussions with respect to ongoing scientific debates and upcoming research highlights. The seminar usually starts with a presentation given by one of the tutors where the current topic is exposed and made ready for a subsequent discussion. Hence, the course will include presentations, paper discussions as well as numerical demonstrations.
<b>Ziele</b>

Based on this lecture the students be capable:
-- to read and evaluate a scientific paper
-- to defend a topic/methodology/approach based on scientific reasoning
-- to expose a scientific topic in a short presentation
-- to develop a scientific attitude towards new topics
-- to carry out a corresponding literature search.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Active attendance to the discussions including a short presentation of a scientific paper (Presentation and discussion are handled as an oral exam).

<b>Literatur</b>
Scientific papers handed out during lecture.



<b>Modulname</b>
<b>Auslandsforschungsprojekt</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Gerd Bacher, Prof. Dr. rer. nat. Markus Winterer, Dr.-Ing. Wolfgang Mertin
<b>Lehrender</b>
Dozenten des Studiengangs NanoEngineering

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Auslandsforschungsprojekt – Durchführung –	3 (WS)		120	4
2	Auslandsforschungsprojekt – Präsentation -	3 (WS)		90	3
<b>Summe</b>				<b>210</b>	<b>7</b>

<b>Beschreibung</b>
Internationale Erfahrungen sind für angehende erfolgreiche Ingenieure und Ingenieurinnen unerlässlich. Um dieser Forderung gerecht zu werden, wird das 3. Mastersemesters von Pflichtveranstaltungen (mit Ausnahme des Projektes) freigehalten. Hier bietet sich also die Möglichkeit eines längeren Forschungsaufenthalts z.B. an einer Partner-Hochschule des Studiengang Nano-Engineering an. Neben den fachlichen Kenntnissen sollen hier auch Fähigkeiten erworben werden, sich im internationalen Forschungsumfeld zurechtzufinden.
<b>Lernziele</b>
Die Studierenden können einen längeren Auslandsaufenthalt organisieren. Sie sind fähig, sich in eine internationale Arbeitsgruppe, zum Teil in einer fremden Kultur, zu integrieren und dort erfolgreich ein Forschungsprojekt zu bearbeiten.
<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Erfolgreiche Durchführung des Forschungsprojekts im Ausland. Englischsprachiger schriftlicher Bericht und englischsprachige Präsentation über die Ergebnisse.
<b>Literatur</b>
Projektspezifisch. Wird vom jeweiligen Betreuer vor Ort genannt.



<b>Modulname</b>
<b>Computational Electromagnetics 1</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr.-Ing. Andreas Rennings
<b>Lehrender</b>
Dr.-Ing. Andreas Rennings

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Computational Electromagnetics 1	3 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Computerorientierte Berechnungsverfahren für elektromagnetische Felder gehören mit zu den wichtigsten Entwurfswerkzeugen für Bauelemente z.B. der Mikrowellentechnik, der angewandten Optik, aber auch der Energietechnik. Diese Veranstaltung erläutert die verschiedenen Formulierungen des quasi-statischen Feldproblems und setzt diese mit den entsprechenden Lösungsverfahren in Beziehung. Im Rahmen der Veranstaltung lernen die Studierenden auch die Benutzung von zugehörigen Simulationsplattformen kennen.
Im Detail werden folgende Methoden und die Benutzung der zugehörigen Software-Produkte (in Klammern) erörtert:
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Methode der Finiten Differenzen, kurz FDM (Eigenentwicklung aus dem Fachgebiet ATE - inklusive GUI mit Geometrie-Eingabe und Simulations-Kontrolle!)</li> <li>2. Finite Elemente Methode, kurz FEM (COMSOL Multiphysics)</li> <li>3. Momenten-Methode, kurz MoM (eigenes MATLAB Programm)</li> </ol>
<b>Lernziele</b>
Die Teilnehmer wissen,
- warum numerische Methoden für das elektromagnetische Design von Bauteilen/Systemen aus der Praxis unbedingt benötigt werden,
- wie sie die mathematische Formulierung der Lösung eines Feldproblems in ein systematisches Computerprogramm umsetzen,
- welche numerische Methode am Besten für ein spezielles Problem geeignet ist,
- wie sie einen PC (Hardware) und kommerzielle oder auch open-source Software effizient für das elektromagnetische Design einsetzen können,
- welche Limitierungen die vorgestellten numerischen Methoden haben.
Sie beherrschen folgende Methoden und zugehörige Software-Produkte (in Klammern):
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Methode der Finiten Differenzen, kurz FDM (Eigenentwicklung aus dem Fachgebiet ATE - inklusive GUI mit Geometrie-Eingabe und Simulations-Kontrolle!)</li> <li>2. Finite Elemente Methode, kurz FEM (COMSOL Multiphysics)</li> <li>3. Momenten-Methode, kurz MoM (eigenes MATLAB Programm)</li> </ol>

## **Studien-/Prüfungsleistung**

Schriftliche oder mündliche Prüfung – Alternative: Projektarbeit

Art und Dauer der Prüfung wird gemäß Prüfungsordnung vom Lehrenden zu Beginn des Semesters bestimmt. Möglich ist eine Klausur mit einer Dauer 60 bis 120 Minuten oder eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten.

Die alternative Projektarbeit umfasst 4 Präsenzveranstaltungen im CoFT-Lab zu je 4 Stunden. Ferner ist zum Erhalt des Leistungsnachweises ein zehnseitiger Bericht zur Projektarbeit einzureichen.

## **Literatur**

- [1] G. D. Smith, Numerical Solution of Partial Differential Equations: Finite Difference Methods (Third Edition), Oxford University Press, Oxford, 1985
- [2] J.C. Strikwerda, Finite Difference Schemes and Partial Differential Equations, Wadsworth & Brooks, Belmont, Calif., 1989
- [3] J. Jin, The Finite Element Method in Electromagnetics. New York: John Wiley & Sons, 2002
- [4] R.F. Harrington, Field Computation by Moment Methods. New York: John Wiley & Sons, 1993 (reprint of IEEE Press)
- [5] E.B. Magrab et al., An Engineer's Guide to Matlab, Prentice Hall, 2000

<b>Modulname</b>
<b>Computational Electromagnetics 2</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr.-Ing. Andreas Rennings
<b>Lehrender</b>
Dr.-Ing. Andreas Rennings

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Computational Electromagnetics 2	3 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Computerorientierte Berechnungsverfahren für elektromagnetische Felder gehören mit zu den wichtigsten Entwurfswerkzeugen für Bauelemente z.B. der Mikrowellentechnik, der angewandten Optik, aber auch der Energietechnik. Diese Veranstaltung erläutert die verschiedenen Formulierungen des elektrodynamischen Feldproblems und setzt diese mit den entsprechenden Lösungsverfahren in Beziehung. Im Rahmen der Veranstaltung lernen die Studierenden auch die Benutzung von zugehörigen Simulationsplattformen kennen.
Im Detail werden folgende Methoden und die Benutzung der zugehörigen Software-Produkte (in Klammern) erörtert:
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Finite Differenzen im Zeitbereich, kurz FDTD (EMPIRE XCcel von der IMST GmbH)</li> <li>2. Finite Elemente Methode, kurz FEM (COMSOL Multiphysics)</li> <li>3. Multiple Multipol Methode, kurz MMP (nur Vortrag)</li> </ol>
<b>Lernziele</b>
Die Teilnehmer wissen,
<ul style="list-style-type: none"> <li>- warum numerische Methoden für das elektromagnetische Design von Bauteilen/Systemen aus der Praxis unbedingt benötigt werden,</li> <li>- wie sie die mathematische Formulierung der Lösung eines Feldproblems in ein systematisches Computerprogramm umsetzen,</li> <li>- welche numerische Methode am besten für ein spezielles Problem geeignet ist,</li> <li>- wie sie einen PC (Hardware) und kommerzielle oder auch open-source Software effizient für das elektromagnetische Design einsetzen können,</li> <li>- welche Limitierungen die vorgestellten numerischen Methoden haben.</li> <li>- es werden folgende Methoden und zugehörige Software-Produkte (in Klammern) im Detail erörtert:</li> </ul>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Finite Differenzen im Zeitbereich, kurz FDTD (EMPIRE XCcel von der IMST GmbH)</li> <li>2. Finite Elemente Methode, kurz FEM (COMSOL Multiphysics)</li> <li>3. Multiple Multipol Methode, kurz MMP (nur Vortrag)</li> </ol>

## **Studien-/Prüfungsleistung**

Schriftliche oder mündliche Prüfung – Alternative: Projektarbeit

Art und Dauer der Prüfung wird gemäß Prüfungsordnung vom Lehrenden zu Beginn des Semesters bestimmt. Möglich ist eine Klausur mit einer Dauer 60 bis 120 Minuten oder eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten.

Die alternative Projektarbeit umfasst 4 Präsenzveranstaltungen im CoFT-Lab zu je 4 Stunden. Ferner ist zum Erhalt des Leistungsnachweises ein zehnseitiger Bericht zur Projektarbeit einzureichen.

## **Literatur**

- [1] A. Taflove, S.C. Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Norwood, Artech House, 2005
- [2] J. Jin, The Finite Element Method in Electromagnetics, New York, John Wiley & Sons, 2002.
- [3] P.P. Silvester, R.L. Ferrari, Finite Elements for Engineers, Cambridge, Cambridge University Press, 1996
- [4] C. Hafner, The Generalized Multipole Technique for Computational Electromagnetics. Norwood, Artech House, 1990
- [5] T. Itoh, Numerical Techniques for Microwave and Millimeter-Wave Passive Structures, New York, John Wiley & Sons, 1989.

<b>Modulname</b>
<b>Dielektrische und magnetische Materialeigenschaften</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr.-Ing. Wolfgang Mertin
<b>Lehrender</b>
Dr.-Ing. Wolfgang Mertin

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Dielektrische und magnetische Materialeigenschaften	2 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) + 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Veranstaltung mit Vorlesung und Übung. In dieser Veranstaltung werden die theoretischen Grundlagen zum Verständnis der dielektrischen und der magnetischen Materialeigenschaften gelehrt. Es werden die den dielektrischen Materialien zugrunde liegenden Polarisationsmechanismen anhand von Modellen erläutert. Der Magnetismus wird auf der Basis atomarer Vorgänge beschrieben. Hysteresebehaftete dielektrische und magnetische Materialien werden ebenso diskutiert wie nichtlineare Prozesse. Parallelen zwischen beiden Materialklassen werden aufgezeigt. Anwendungsbeispiele aus der Energietechnik (Isolatoren), der Mikro- und Nanoelektronik (Isolatoren, Ladungsspeicher, magnetische Speicher Sensoren) und der Nanooptoelektronik (Wellenleiter) werden unter nanospezifischen Gesichtspunkten erläutert.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden sind in der Lage, das makroskopische dielektrische und magnetische Verhalten von Werkstoffen und Nanostrukturen anhand atomarer Vorgänge zu erklären. Sie oder er kann die unterschiedlichen Materialien nach verschiedenen Gesichtspunkten sortieren. Für definierte Anwendungen kann sie oder er geeignete Materialien und Materialkombinationen auswählen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Mündliche Prüfung im Umfang von 30 - 45 Minuten.

<b>Literatur</b>
[1] W. Kowalsky, Dielektrische Werkstoffe der Elektrotechnik und Photonik, B. G. Teubner 1994
[2] G. Fasching, Werkstoffe der Elektrotechnik, Springer-Verlag 1994
[3] K.C. Kao, Dielectric Phenomena in Solids, Elsevier Academic Press, 2004
[4] W. v. Münch, Elektrische und magnetische Eigenschaften der Materie, B. G. Teubner 1987
[5] K. Kopitzki, Einführung in die Festkörperphysik, B. G. Teubner 1993
[6] J. F. Nye, Physical properties of crystals, Oxford Science Publications 1985
[7] Ch. Kittel, Einführung in die Festkörperphysik, Oldenbourg Verlag 2002
[8] S. Chikazumi, Physics of Magnetism, Robert E. Krieger Publishing Company, 1978
[9] R. Waser [Ed.], Nanoelectronics and Information Technology, Wiley-VCH Verlag, 2003



<b>Modulname</b>
<b>Einführung in die Automatisierungstechnik (Nano)</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Uwe Maier
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Uwe Maier

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Einführung in die Automatisierungstechnik	2 (SS)	4 (VÜ)	60 (P) + 90 (E) = 150	5
<b>Summe</b>			<b>4</b>	<b>150</b>	<b>5</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. Das einführende Kapitel gibt einen Überblick über Ziele, Funktionalität und Gerätetechnik der industriellen Automatisierung. Zur Beschreibung von ereignisdiskreten Systemen, z.B. von Ablaufsteuerungen oder von gesteuerten Prozessen, werden Stellen-Transitionen-Netze, eine Form der Petrinetze, eingeführt. Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) und deren textuelle und grafische Programmierung nach internationalem Standard IEC 61131-3 werden behandelt. Für lineare zeitinvariante dynamische Systeme werden die Beschreibung durch Differentialgleichungen, DGL-Systeme (Zustandsmodelle), Übertragungsfunktionen und Frequenzgänge zusammengefasst und nach der in der Regelungstechnik üblichen Art klassifiziert und analysiert. Diese Systemtheorie wird dann auf einfache Regelkreise angewendet, um deren Dynamik und Stabilität zu untersuchen. Angewendete Methoden sind u.a. die Berechnung der Führungs- und Störübertragungsfunktion, Hurwitz-Kriterium, vollständiges und vereinfachtes Nyquist-Kriterium, Wurzelortskurve.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden können einfache Steuerungsfunktionen konzipieren und programmieren. Sie können das Verhalten von linearen zeitinvarianten dynamischen Systemen und Regelkreisen beschreiben und analysieren und deren Stabilität untersuchen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Klausurarbeit mit einer Dauer von 120 Minuten, Sprache: deutsch.

<b>Literatur</b>
[1] U. Maier, Vorlesungsskript "Einführung in die Automatisierungstechnik" (wird jährlich aktualisiert, per Download verfügbar).
[2] H. Unbehauen, Regelungstechnik 1. Vieweg, Braunschweig u.a., 13. Aufl. 2005.
[3] G.F. Franklin, J.D. Powell, et al., Feedback Control of Dynamic Systems. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 5th ed. 2006.
[4] K.-H. John, M. Tiegelkamp, SPS-Programmierung mit IEC61131-3. Springer, 2000.



<b>Modulname</b>
<b>Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Claus M. Schneider
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. rer. nat. Claus M. Schneider

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	Ein entsprechendes Bachelor-Studium

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik	2 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 105 (E) = 150	5
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>150</b>	<b>5</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Praktikum. Die Veranstaltung behandelt die Grundlagen und Anwendungen von spinabhängigen Transportphänomenen aus experimenteller Sicht. Ausgangspunkt sind elektrische Ladungstransportprozesse in Rahmen der Boltzmann-Behandlung. Daraus werden systematisch die verschiedenen Magnetowiderstands- und Spintransporteffekte entwickelt: Anisotroper Magnetowiderstand (AMR), Halleffekt, Riesenmagnetowiderstand (GMR), Tunnelmagnetowiderstand (TMR), Spinakkumulation und -injektion, Spin Hall Effekte, etc. Neben den elektronischen und magnetischen Grundlagen dieser Effekte werden auch aktuelle und perspektivische Anwendungen in der magnetischen Sensorik, Datenspeicherung, und Mikroelektronik diskutiert.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden besitzen ein Verständnis der wesentlichen Spintransport-Phänomene (Magneto-widerstand, Hall Effekt, AMR, GMR, TMR, Spin Injektion in Halbleiter, Spin Akkumulation, Spin Transfer Torque, Spin Hall Effekte) und ihrer mikroskopischen Mechanismen. Sie haben Kenntnis der hauptsächlichen Material- und Anwendungssaspekte der Spinelektronik (magn. Datenspeiche-rung, magn. Sensoren, Mikrowellengeneratoren, Spinlogik, Quanteninformationstechnologie).

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 Minuten.

<b>Literatur</b>
[1] M. Ziese and M.J. Thornton (ed.), Spin Electronics, Springer, Berlin 2001
[2] R.C. O'Handley, Modern Magnetic Materials, Wiley Interscience, New York, 2000
[3] D.D. Awschalom, D. Loss, N. Samarth (eds.), Semiconductor Spintronics and Quantum Computation, Springer, Berlin, 2002
[4] J.A.C. Bland and B. Heinrich (eds.), Ultrathin Magnetic Structures Vol. 1 - 4, Springer, Berlin, 2002/2005

[5] E.P. Wohlfarth (ed.), *Ferromagnetic Materials* Vol. 3, (North-Holland, Amsterdam, 1982), weitere relevante Artikel zu Themen der Spinelektronik finden sich auch in Volumes 7, 12, 13, und 14 dieser Reihe

[6] S. Bandyopadhyay and M. Cahay, *Introduction to Spintronics*, CRC Press Inc., 2008

[7] E. Y. Tsymbal and I. Zutic (eds.), *Handbook of Spin Transport and Magnetism*, CRC Press, Chapman & Hall, 2011

<b>Modulname</b>
<b>Fluiddynamik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Ernst von Lavante
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Ernst von Lavante

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Fluiddynamik	1 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 105 (E) = 150	5
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>150</b>		<b>5</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. Die Vorlesung bietet eine Erweiterung auf wichtige Probleme der Fluiddynamik und gliedert sich in folgende Kapitel: · Erhaltungsgleichungen der Fluiddynamik: Erhaltung von Masse, Impuls und Energie (Navier-Stokes Gleichungen), Spannungs-Dehnungs-Beziehungen, thermische und kalorische Zustands-gleichungen · Ähnlichkeitstheorie der Fluide · Schleichende Strömung - Potentialströmung · Grenzschichttheorie · Einführung in turbulente Strömungen · Eindimensionale Gasdynamik

<b>Ziele</b>
Die Studierenden können auch komplexere theoretische oder experimentelle Problemstellungen der Fluiddynamik analysieren und mathematisch beschreiben und – für einfache Beispiele – auch berechnen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Schriftliche Prüfung mit einer Dauer von 120 min.

<b>Literatur</b>
[1] Umdruck
[2] Script



<b>Modulname</b>
<b>Grundlagen der Oberflächenphysik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Heiko Wende
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. rer. nat. Heiko Wende

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Grundlagen der Oberflächenphysik	1 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Praktikum. In der Vorlesung werden die Erzeugung von sauberen Umgebungsbedingungen und sauberen Oberflächen, geometrische und elektronische Struktur von Oberflächen, Mechanismen der Strukturbildung: Rekonstruktion und Relaxation, Oberflächenzustände und elementare Anregungen, Austrittsarbeit und Emissionsvorgänge, Wechselwirkung mit Atomen und Molekülen, chemische Reaktionen, Adsorption und Wachstum, experimentelle Methoden, Präparation von Oberflächen besprochen.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden beherrschen die grundlegenden Kenntnisse der Oberflächenphysik. Sie verstehen sowohl die theoretische Beschreibung von Vorgängen an Oberflächen als auch die experimentellen Methoden.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Mündliche Prüfung im Umfang von 45 min.

<b>Literatur</b>
[1] H. Lüth, Surfaces and Interfaces of Solids, Springer Verlag
[2] M.C. Desjonqueres and D. Spanjaard, Concepts of Surface Physics, Springer Verlag
[3] A. Zangwill, Physics at Surfaces, Cambridge Univ. Press
[4] M. Henzler und W. Göpel, Oberflächenphysik des Festkörpers, Teubner Verlag



<b>Modulname</b>
<b>Kolloidprozesstechnik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Markus Winterer
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr. rer. nat. Markus Winterer

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Kolloidprozesstechnik	1 (WS)	3	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

**Beschreibung**

Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. Kolloide sind Systeme, bei denen Teilchen mit charakteristischen Größen von 1nm bis 1µm in einem anderen Stoff - meistens einer Flüssigkeit - feinverteilt (dispergiert) sind. Die Teilchen sind also größer als Moleküle, aber kleiner als makroskopische Körper. Sie besitzen eine sehr große Grenzfläche zu ihrer Umgebung, d.h. dem Dispersionsmittel. Die Veranstaltung führt zunächst in die Kolloidchemie und Kolloidphysik ein, die die Grundlagen für die Kolloidprozesstechnik darstellen. Kolloidprozesstechnik beschäftigt sich mit der Verfahrenstechnik von Kolloiden und ihrer Verarbeitung zu Materialien. Ihre Beherrschung bildet die Voraussetzung für die Herstellung vieler Systeme, in denen Nanopartikel eingesetzt werden, wie z.B. Pasten, Papier, Farben und Lacken, keramischen Festkörpern und spielen bei wichtigen Prozessen zur Herstellung von Nanopartikeln eine wesentliche Rolle. Themen der Vorlesung sind: 01. Einführung 02. Grenzflächenthermodynamik 03. Oberflächenchemie 04. Van der Waals-Wechselwirkung 05. Debye-Hückel-Modell 06. DLVO Theorie 06. Stabilisierung 07. Deagglomeration 08. Formgebung 09. Trocknung kolloidaler Schichten 10. Beschichtungsverfahren 11. Druckverfahren 12. Messmethoden Im Seminar führen die Studenten unter Anleitung eine wissenschaftliche Literatur-Recherche zum Thema 'Kolloidale Kristalle' durch und tragen zu unterschiedlichen Aspekten dieses Themas vor, z.B. • Opale und inverse Opale • Kolloidale Kristalle • Photonische Kristalle • Kleinwinkelstreuung

**Ziele**

Lernziel ist das Verständnis der physikalisch-chemischen Grundlagen von Kolloiden (Partikelwechselwirkung und Grenzflächenchemie) und ihre Anwendung in der Prozesstechnik. Die Studierenden sind in der Lage Verfahren zur Funktionalisierung, Dispergierung und Stabilisierung von Nanopartikeln in Fluiden vorzuschlagen und physikalische und chemische Prozesse in Kolloiden quantitativ zu erklären.

**Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote**

Mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten.

## Literatur

### Zur Einführung

- [1] G. Brezesinski und H.-J. Mögel, Grenzflächen und Kolloide, Spektrum Akad. Vlg. 1993
- [2] R. J. Hunter, Introduction to Modern Colloid Science, Oxford Science Publisher 1994

### Zur Vertiefung

- [3] R. J. Hunter, Foundations of Colloid Science, Oxford University Press, 2000
  - [4] D. F. Evans and H. Wennerström, The Colloidal Domain - Where Physics, Chemistry, Biology and Technology meet, Wiley-VCH 1999
  - [5] P. C. Hiemenz and R. Rajagopalan, Principles of Colloid and Surface Chemistry, CRC 1997
  - [6] C. J. Brinker and G. W. Scherer, Sol-Gel-Science, Academic Press 1990
  - [7] H.-D. Dörfler, Grenzflächen und kolloid-disperse Systeme, Springer 2002
  - [8] J. Israelachvili, Intermolecular & Surface Forces, Elsevier 2005
  - [9] J. H. Fendler (ed.), Nanoparticles and Nanostructured Films, Wiley-VCH 1998
  - [10] M. N. Rahaman, Ceramic Processing and Sintering, Marcel Dekker 2003
  - [11] J. S. Rheed, Principles of Ceramics Processing, Wiley 1995
- [12] Original-Literatur, z.B. aus den Zeitschriften
- Advanced Materials
  - Langmuir
  - Journal of Colloids and Interfaces
  - Journal of the American Ceramic Society

<b>Modulname</b>
<b>Lasermaterialbearbeitung: Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr.-Ing. Stephan Barcikowski, Prof. Dr. rer. nat Niels Hartmann, Prof. Dr. rer. nat. Eckard Hasselbrink, Dr. rer. nat. Philip Wagener

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Lasermaterialbearbeitung: Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung	1 (SS)	3	39 (P) + 81 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und einem Seminar bzw. Methodenkurs. An typischen Beispielen wird eine Einführung in Laseranwendungen zur Materialbearbeitung in Ingenieurs- und Naturwissenschaften in der Serienfertigung gegeben. Die Strahl-Stoff-Wechselwirkung wird diskutiert. Verschiedene Strahlquellen und Betriebsarten des Lasers zur Lasermaterialbearbeitung werden vorgestellt. Im Anschluss wird die Makro-, Mikro und Nanostrukturierung mit Lasern an verschiedenen Beispielen eingehend dargestellt: Schneiden, Schweißen, Bohren und Markieren, Laserauftragschweißen und –sintern, Oberflächenstrukturierung und Nanostrukturierung, Lasergenerierung von Nanopartikeln, Funktionale Nanopartikel und –materialien. Zum Abschluss werden ökonomisch-technische Aspekte behandelt sowie die Charakterisierung und Qualitätssicherung in der Laserfertigung besprochen.

Im Vortragskolloquium erarbeiten die Studierenden aus einem Themenpool in Zweier-Teams einen ca. 10 min. Vortrag zu einer aktuellen Fragestellung der Lasermaterialbearbeitung. Die Vorträge werden in einem gemeinsamen Seminar (Studierende + Lehrende) präsentiert und diskutiert. Im Methodenkurs werden den Studierenden verschiedene Methoden der Lasermaterialbearbeitung anhand aktueller Forschungsthemen vorgestellt und in praktischen Versuchen in den Laboren der Lehrenden erarbeitet.
--

<b>Ziele</b>
Die Teilnehmer der Veranstaltung sind in der Lage, geeignete Lasermethoden zur Lösung einer Problemstellung der Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung auszuwählen und anzuwenden.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
---

Mündlich Prüfung mit einer Dauer von 30 min. Die Modulnote setzt sich aus gleichen Teilen aus der mündlichen Prüfung und der Benotung des begleitenden Seminars zusammen.

### Literatur

- D. Bäuerle, Laser Processing and Chemistry, Springer-Verlag
- J. Bliedner, H. Müller, A. Barz: Lasermaterialbearbeitung: Grundlagen - Verfahren Anwendungen - Beispiele, Carl Hanser Verlag
- W. M. Steem, J. Mazumber: Laser material processing, Springer-Verlag
- P. Schaaf (ed.): Laser material processing: Fundamentals, Applications and developments, Springer-Verlag
- D. Bäuerle, Laser, Wiley-VCH

<b>Modulname</b>
<b>Lasertechnik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
PD Dr.-Ing. Andreas Stöhr
<b>Lehrende</b>
Dr.-Ing. Andreas Stöhr

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Lasertechnik	1 (WS)	3	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

**Beschreibung**

Die ersten Stunden innerhalb der Vorlesung Lasertechnik umfassen die Grundprinzipien und die mathematische Beschreibung der elektromagnetischen Wellen. Die Vorlesung fährt fort mit den quantenmechanischen Beziehungen zwischen elektromagnetischen Wellen und Atomen, resultierend in den zwei wichtigsten Anforderungen für optische Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung (Laser). Besondere Aufmerksamkeit wird den Grundkonzepten, der Funktionalität und den charakteristischen Spezifikationen der unterschiedlichen Laser gewidmet; betrachtet werden z.B. der Helium-Neon Laser, der Ar-Ionlaser, der Excimer Laser, der Ti:Sapphire Laser, die Halbleiter-Laserdioden etc. Nach einer Diskussion wichtiger Laser-Komponenten folgen abschließend Beispiele von Laser-Anwendungen in den verschiedenen technischen Gebieten (Interferometrie, Spektroskopie, Kommunikationstechnik, Sensoren, Materialbearbeitung, Fusion usw...), und es werden zukünftige Trends besprochen.

**Lernziele**

Die Studierenden sind in der Lage, die prinzipielle Funktionsweise eines Lasers zu beschreiben, die verschiedenen Lasertypen und Bauformen zu unterscheiden und spezifischen Einsatzgebieten zuzuordnen.

**Studien-/Prüfungsleistung**

Klausur mit einer Dauer zwischen 90 und 120 Minuten. Sprache: deutsch.

**Literatur**

- [1] F. Pedrotti, L. Pedrotti, W. Bausch, H. Schmidt, Optik für Ingenieure – Grundlagen (3. Auflage), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
- [2] D. Kühle, Optik – Grundlagen und Anwendungen (2. Auflage), Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH, Frankfurt am Main, 2004
- [3] W. Demtröder, Laserspektroskopie – Grundlagen und Techniken (2. Auflage), Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1977, 1991



<b>Modulname</b>
<b>Master-Arbeit</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Gerd Bacher
<b>Lehrende</b>
Verschiedene Dozenten und Dozentinnen aus den Fakultäten für Ingenieurwissenschaften und Physik.

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
Zur Master-Arbeit wird zugelassen, wer das Master-Projekt nachweist und je nach Studiengang eine in der jeweiligen Prüfungsordnung festgelegte Mindest-Anzahl an ECTS-Credits erworben hat.	siehe Voraussetzungen laut Prüfungsordnung, keine weiteren Empfehlungen.

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Master-Arbeit (einschließlich Kolloquium)	4	0	0	30
<b>Summe</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>30</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Master-Abschlussarbeit ist eine Prüfungsarbeit, in der die oder der Studierende zeigen soll, dass er innerhalb einer vorgegebenen Frist von 6 Monaten ein Problem selbstständig unter Anleitung nach wissenschaftlichen Methoden bearbeiten kann. Die Arbeit soll wie ein Projekt in der Praxis unter Beachtung von Methoden des Projektmanagements betreut und durchgeführt werden. Dokumentation und Präsentation (deutsch oder englisch) sollen zeigen, dass die oder der Studierende in der Lage ist, Zusammenhänge und Ergebnisse verständlich und präzise darzustellen.

<b>Ziele</b>
Die Master-Abschlussarbeit stellt eine Prüfungsleistung dar. Neben der fachlichen Vertiefung an einem Beispiel haben die Studierenden folgende Soft-Skills erworben und vertieft: - Selbstlernfähigkeit, - Teamfähigkeit (Zusammenarbeit mit den Betreuern), - Anwendung von Methoden des Projektmanagements, - Kommunikationsfähigkeit: technische Dokumentation und Präsentation, im Fall englischer Präsentation auch Übung von Sprachkenntnissen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Das Modul besteht nur aus der Master-Abschlussarbeit, die von zwei Prüferinnen oder Prüfern bewertet wird.

<b>Literatur</b>
Spezifisch für das gewählte Thema.



<b>Modulname</b>
<b>Materialwissenschaften - Polymere</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. Mathias Ulbricht
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr. Mathias Ulbricht

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Materialwissenschaften - Polymere	1 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 105 (E) = 150	5
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>150</b>	<b>5</b>

<b>Beschreibung</b>
- Zustände, Struktur und Morphologie fester Körper - Oberflächen und Grenzflächen - Materialeigenschaften (mechanische Eigenschaften, elektrische Eigenschaften, Wärmeleitfähigkeit, magnetische Eigenschaften, optische Eigenschaften, thermische Ausdehnung, Korrosion) - Verfahren zur Materialprüfung - Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren - Exemplarische technische Werkstoffe (Beziehungen zwischen Struktur, Herstellung/Verarbeitung und Funktion) mit Schwerpunkt Polymere

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden haben aufbauend auf ihrem Wissen zur Chemie systematische Kenntnisse zu Struktur- / Funktionsbeziehungen bei festen Materialien (Metalle, Keramiken, Polymere, Verbundwerkstoffe) erworben.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Klausur
<b>Literatur</b>
W. Schatt, H. Worch, Werkstoffwissenschaft, 9. Aufl., Wiley-VCH, 2003 H.G. Elias, Makromoleküle – Bände 1- 4, 6. Aufl., Wiley-VCH, 1999ff.



<b>Modulname</b>
<b>Mathematik E4</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. Christoph Scheven
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr. Christoph Scheven

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Mathematik E4	1 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 105 (E) = 150	5
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>150</b>		<b>5</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer gleichnamigen Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. Folgende Themen werden behandelt: Vektoranalysis - Integration in mehreren Veränderlichen - parametrisierte Flächen - Flächenintegrale - Flussintegrale - Der Satz von Green - Der Satz von Stokes - Der Satz von Gauß Partielle Differentialgleichungen - Einführung - Die Greenschen Formeln - Poissonsche Integralformeln für die Kreisscheibe und die Kugel Distributionen (Grundlagen)
<b>Ziele</b>
Die Studierenden sind in der Lage, die wichtigsten Flächen zu parametrisieren. Sie können Flächen- und Flussintegrale berechnen und dazu die Integralsätze verwenden. Sie wissen, was ein Randwertproblem ist und können dieses für einfache Gebiete lösen.
<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Schriftliche Prüfung mit einer Dauer von 120 min.
<b>Literatur</b>
[1] K. Burg, H. Haf, F. Wille, Mathematik für Ingenieure, I-IV, 2002 [2] J.E. Marsden and A.J. Tromba, Vectoranalysis, 1996 [3] J. Kevorkian, Partial Differential Equations, 2000 [4] M. Renardy and R.C. Rogers, A first graduate course in Partial Differential Equations, 2004



<b>Modulname</b>
<b>Membrantechnologie</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. Mathias Ulbricht
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. Mathias Ulbricht

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Wahlflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Membrantechnologie	3 (WS)	2 (V)	45 (P) + 45 (E) = 90	3
<b>Summe</b>		<b>2</b>	<b>90</b>		<b>3</b>

<b>Beschreibung</b>
Membranen:
- Membrantypen (nicht porös, porös, Ionenaustausch, Affinität)
- Membranprozesse nach Typ und treibender Kraft (Gastrennung, Umkehrosmose, Nanofiltration, Ultrafiltration, Mikofiltration, Dialyse, Elektrodialyse, Pervaporation)
- Material und Methoden / Herstellung
- Membranformen (Flachmembranen, Kapillarmembranen) und Morphologie
Membranfouling, Membranscaling
Membranmodule und Grundlagen der Membrantrenntechnik
Adsorbermembranen
Membranreaktoren
Fallbeispiele zum Teil mit Bezug zur Wassertechnik:
- Entsalzung mit Umkehrosmose, Nanofiltration und Elektrodialyse
- Reinigungsprozesse mit Umkehrosmose, Nanofiltration, Ultra- und Mikrofiltration und Prozesskombinationen
- Membranbioreaktoren

<b>Lernziele</b>
Aufbauend auf den Grundlagen der physikalischen Chemie und der (chemischen) Verfahrenstechnik sind die Studierenden in der Lage, die Grundlagen zum Thema "Membranen" und Membrantrenntechnik zu beschreiben und zu erläutern. Sie sind auch in der Lage, die wesentlichen Membrantechniken zur Wasseraufbereitung zu beschreiben und zu erläutern.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Schriftliche Prüfung, Prüfungsdauer: 90 Minuten
<b>Literatur</b>
[1] M. Mulder, Basic principles of membrane technology, 2nd Ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. [2] R. W. Baker, Membrane technology and applications, 2nd Ed., Chichester: John Wiley and Sons, 2004.



<b>Modulname</b>
<b>Messtechnik nanodisperser Systeme</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Frank Einar Kruis
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Frank Einar Kruis

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Messtechnik nanodisperser Systeme	2 (SS)	3 (VS)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. Die wichtigsten Methoden zur Bestimmung der Nanodispersität werden vorgestellt. Inhalt: 1. Größe und Form von Nanopartikeln. Äquivalenzdurchmesser. Größenverteilungsfunktion (differenziell und integral, Normal und Lognormalverteilung), Art der Größenbestimmung (Off-,in-,on-line, in-,ex-situ). 2. Off-line und ex-situ Techniken. 2.1 Statische Probleme in der Probenahme (sampling bias, Statistik) 2.2 Probennahmetechniken 2.3 Analyse und Bildverarbeitung von TEM und SEM Daten. 2.4 BET (Gasadsorption, Brunauer-Emmett-Teller Theorie) 2.5 XRD 3 On-line Techniken 3.1 Diffusionsbatterie und tracking analysis 3.2 Differentielle Mobilitätsanalyse 3.3 Hochvakuum Techniken, Quadrupol, time-of-flight und PMS 3.4 Laserinduzierte Inkandeszenz

<b>Ziele</b>
Die Studierenden sind in der Lage, die physikalischen Hintergründe und die Funktionsweise der wichtigsten Techniken zur Bestimmung der Nanodispersität zu erklären.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Die Art und Dauer der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben. Laut Prüfungsordnung ist eine Klausurarbeit mit einer Dauer zwischen 60 und 120 Minuten oder eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten möglich.

<b>Literatur</b>
[1] F.E. Kruis, Size analysis of nanodisperse systems, manuscript, 2011
[2] P.A. Baron, K. Willeke, Aerosol Measurement Principles, Techniques, and Applications (2001)
[3] K.L. Mittal, Particles on surfaces (VSP, Utrecht, 2003)
[4] F.E.Kruis, Vorlesungsmanuskript physikalische Partikelsynthese (ZFUW, Kaiserslautern, 2005)
[5] P. Milani and S. Iannotta, Cluster Beam Synthesis of Nanostructured Materials, Springer Series in Cluster Physics (Springer-Verlag, Berlin, 1999)
[6] und aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen



<b>Modulname</b>
<b>Mikro- und Nanosystemtechnik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Holger Vogt
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Holger Vogt

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Mikro- und Nanosystemtechnik	3 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Mikrosystemtechnik ist eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Produkte mit mikrosystemtechnischen Komponenten erobern immer mehr Anwendungsbereiche im täglichen Leben und sind in ihren Potentialen hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Neue Anwendungsfelder werden erschlossen durch Skalierung der Strukturen in den Nanometer-Bereich. Die Vorlesung Mikro- und Nanosystemtechnik erlaubt einen Einblick in dieses spannende interdisziplinäre Gebiet mit seiner Vielfältigkeit und vermittelt dem angehenden Ingenieur das Grundwissen für einen späteren Einstieg in dieses Berufsumfeld. Folgende Themenbereiche werden von der Vorlesung behandelt: I. Mikrotechniken: - Bulk-mikromechanik (isotropes und anisotropes naßchemisches Ätzen, Plasma-Tiefenätzen) - Oberflächen-mikromechanik und andere Mikrotechniken (Opferätztechnik, Epi-Polysilizium, SOI, Sticking-Problematik, Vergleich unterschiedlicher Mikro- und Nanostrukturtechniken) II. Mikrosensoren: - Thermische Sensoren (Thermistoren, PT-Sensor, integrierte Temperatursensoren, Anemometrie, Luftmassensensor) - Mechanische Sensoren (piezoresistive und kapazitive Drucksensoren, Beschleunigungssensoren, Drehratensensoren) - Sensoren für Strahlung (CMOS-Bildsensor, CCD, IR-Sensor, Teilchendetektoren) - Magnetfeldsensoren (Spinning-current Hallplate, Magnetoresistivität, Fluxgate-Sensor) - Chemische und Biosensoren (Chemisch sensitive FETs, SAW-Sensoren, DNA-Chip) - Skalierung von Sensorstrukturen in den Nanometerbereich III. Mikroaktoren: - Mikroaktoren (Wirkprinzipien, Mikrospiegel, Mikrostimulatoren) - Mikrofluidik (Mikroventile, Mikropumpen, implantierbares Medikamentendepot, Lab-on-a-Chip) IV. Systemtechniken: - Entwurf, Simulation und Test (Entwurfsmethodik, Simulation, Test- und Prüfverfahren) - Integrations-techniken (monolithische und hybride Integration, Aufbau-und-Verbindungstechnik und Gehäuse-technik für Mikro- und Nanosysteme) Inhalt der Übungen: Vertiefende praktische Aufgaben und Beispiele zum Stoff der Vorlesung

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden kennen die Prinzipien und Techniken der Mikro- und Nanosystemtechnik und ihre Einsatzmöglichkeiten/Beschränkungen, sie verstehen einzelne Mikrokomponenten und ihre Wirkprinzipien, sie verstehen die grundlegenden Systemtechniken und die komplexe wechselseitige Beeinflussung der Komponenten, sie haben System-Know-how zur Integration der Einzelteile in

Design und Herstellung.

**Studien-/Prüfungsleistung**

schriftliche Prüfung 120 min.

**Literatur**

- [1] M. J. Madou, Fundamentals of Microfabrication, CRC Press, ISBN: 0-8493-0826-7
- [2] M. Gad-el-Hak, The MEMS Handbook, CRC Press, ISBN: 0-8493-0077-0
- [3] W. Menz, J. Mohr, Mikrosystemtechnik für Ingenieure, VCH, ISBN: 3-527-29405-8
- [4] U. Mescheder, Mikrosystemtechnik, B.G. Teubner, ISBN: 3-519-06256-9
- [5] G. Gerlach, W. Dötzel, Grundlagen der Mikrosystemtechnik, Hanser, ISBN: 3-446-18395-7

<b>Modulname</b>
<b>Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr.-Ing. Wolfgang Mertin
<b>Lehrende</b>
Dr.-Ing. Wolfgang Mertin

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik	3 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
In dieser Veranstaltung werden moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik eingeführt und speziell anhand von Nanostrukturen bzw. nanostrukturierten Bauelementen erklärt. Neben den einzelnen Messsystemgruppen werden auch die peripheren Messsysteme und ihre zugrunde liegenden Arbeitsweisen eingehend erklärt. Nach den theoretischen Grundlagen der Darstellungsbereiche Zeit- und Frequenzbereich und ihres theoretischen Zusammenhangs werden Rauscharten erläutert und mathematisch beschrieben. Anschließend erfolgt eine eingehende Diskussion der verschiedenen Möglichkeiten der Signaldetektion aus verrauschten Signalen (z. B. Mittelwertbildung, Lock-in Verstärkung). Auf dieser Grundlage werden dann verschiedene, in der Bauelement- und Schaltungsanalytik häufig eingesetzte, Messsysteme beschrieben. Hierzu zählen der Spektrumanalysator, der Netzwerkanalysator, die Kelvin-Force-Mikroskopie und die Rastersonden-Strom und Spannungsmesstechnik aber auch optische Verfahren wie Photoemissionsmikroskopie, PICA und OBIRCH.

<b>Lernziele</b>
Die oder der Studierende ist nach aktivem Besuch der Veranstaltung sensibilisiert für die in der Nanotechnik üblichen Signale. Sie oder er ist in der Lage, den für seine Problemstellung geeigneten Darstellungsbereich zu wählen. Sie oder er kennt die Problematik verrauschter Signale, die Rauschursachen und geeignete Möglichkeiten, optimale Messbedingungen und Messumgebungen auszuwählen. Sie oder er kennt die grundsätzlichen Arbeitsweisen der in der Bauelement- und Schaltungsanalytik gebräuchlichsten Messsysteme und Messverfahren und sie oder er ist in der Lage, das für ihre oder seine Problemstellung am besten geeignete Messsystem auszuwählen und anzuwenden.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Mündliche Prüfung von 30 - 45 Minuten Dauer

## Literatur

- 1) K. Bergmann: Elektrische Messtechnik, Vieweg Verlag 1997
- 2) Clyde F. Coombs, Jr.: Electronic Instrument Handbook, McGraw-Hill Book Company 2000
- 3) B. E. Jones: Messgeräte, Messverfahren, Messsysteme, Teil 1 und 2, Oldenburg - Verlag 1980
- 4) M. Thumm, W. Wiesbeck, S. Kern: Hochfrequenzmesstechnik: Verfahren und Messsysteme, Teubner - Verlag 1997
- 5) L. Reimer: Rasterelektronenmikroskopie, Springer - Verlag 1977
- 6) M. L. Meade: Lock-in amplifiers: Principles and applications, Peter Peregrinus Ltd. 1989
- 7) J. T. L. Thong (ed.): Electron Beam Testing Technology, Plenum Press 1993
- 8) D. Wolf (ed.): Noise in Physical Systems, Springer Verlag 1978
- 9) W. Gruhle: Elektronisches Messen, Springer Verlag 1987
- 10) D. Sarid, Scanning Force Microscopy, Oxford University Press, 1993
- 11) E. Meyer, H. J. Hug, R. Bennewitz, Scanning Probe Microscopy, Springer-Verlag, 2003

<b>Modulname</b>
<b>Nachhaltige Nanotechnologie</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr. rer. nat. Thomas Kuhlbusch
<b>Lehrender</b>
Dr. rer. nat. Thomas Kuhlbusch

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Nachhaltige Nanotechnologie	3 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) + 120	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>		<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Die ersten Vorlesungen befassen sich mit den generellen Konzepten der Nachhaltigkeit und Technologiefolgeabschätzung, sowie relevanten Definitionen und Begriffen im nanotechnologischen Umfeld. Diese Ansätze werden im weiteren Verlauf der Vorlesung auf wirtschaftliche, soziologische und ökologische Aspekte hin angewendet. Basierend auf diesen Grundlagen erfolgen in den späteren Vorlesungen die Diskussionen zu umweltrelevanten Eigenschaften von nanostrukturierten Materialien, deren mögliche Auswirkungen auf die Umwelt, Freisetzung- und Transportszenarien, dem Recyclen, sowie die gesamtheitliche Betrachtung der Auswirkungen von nanostrukturierten Materialien.

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden können die Konzepte der Nachhaltigkeit und deren Einsatz auf das Gebiet der Nanotechnologie anwenden. Sie verstehen hierbei den ganzheitlichen Ansatz von der Entwicklung der Nanotechnologie, der Erfassung möglicher Begleiterscheinungen (positiv wie negativ), sowie die Anwendung spezifischer Messtechniken und –strategien im Umfeld der Nanotechnologie.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Mündliche Prüfung von 45 Minuten Dauer.

<b>Literatur</b>



<b>Modulname</b>
<b>Nanoelektronik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Franz-Josef Tegude
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. rer. nat. Franz-Josef Tegude

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Nanoelektronik	1 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) + 120	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Veranstaltung mit Vorlesung und Übung. Die Veranstaltung behandelt gezielt elektronische Aspekte der Nanotechnologie und grenzt sich ab gegen die Bereiche Nano-photonik und Nanomagnetismus. Sie beginnt mit einer Sichtung geeigneter Materialien und Nanostrukturen und stellt kurz, orientiert an anwendungsrelevanten Nano-Bauelementen, Herstellungsverfahren vor. Die Boltzmanntransportgleichung, Transportmechanismen, insbesondere Tunnel- und ballistischer Transport, werden behandelt. Als Bauelemente werden u.a. 2DEG-Transistoren, Resonanz-Tunnel-Dioden und -Transistoren, Single-Electron-Transistoren, Coulomb-Blockade- sowie elektromechanische Nano-Elemente auf Halbleiter- und Kohlenstoffbasis bearbeitet; einfache Grundfunktionen im Sinne einer Nano-Schaltungstechnik schließen die Veranstaltung ab.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden verstehen die für Nanostrukturen typischen Funktionsmechanismen durch eine möglichst anwendungsnahe Darstellung an elektronischen Bauelementen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Schriftliche Klausur, 120 Minuten. Die Sprache der Prüfung ist gleich der Sprache der Veranstaltung.

<b>Literatur</b>
[1] S. Datta, Electron Transport in Mesoscopic Systems, Cambridge University Press, 1995
[2] J.H. Davies, The Physics of Low-Dimensional Semiconductors, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998



<b>Modulname</b>
<b>Nanokristalline Materialien</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Markus Winterer
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. rer. nat. Markus Winterer

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Nanokristalline Materialien	1 (WS)	3 (VP)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. Nanokristalline Materialien sind polykristalline Festkörper mit einer "Nano"-Mikrostruktur. Unter der Mikrostruktur eines Materials versteht man die Art, Kristallstruktur, Anzahl, Form und topologische Anordnung von Punktdefekten, Versetzungen, Stapelfehlern und Korngrenzen in einem kristallinen Material. Die Mikrostruktur wird bei der Herstellung und Verarbeitung von nanokristallinen Materialien erzeugt und verändert. Sie spielt eine wichtige Rolle bei den Eigenschaften der Endprodukte, wie z.B. der Möglichkeit zu superplastischen Verformung oder beim Transport von Elektronen und Ionen. Themen der Vorlesung sind: 1. Einführung und Mikrostruktur, 2. Festkörperdiffusion - Mechanismen, 3. Festkörperdiffusion – Korngrenzendiffusion, 4. Phasenumwandlungen, 5. Phasendiagramme, 6. Phasenumwandlungen – Größeneffekte, 7. Verdichtung und Formgebung, 8. Sintern - Thermodynamik und Kinetik, 9. Sintern - Kontrolle der Mikrostruktur, 10. Eigenschaften und Anwendungen: Transportphänomene, 11. Eigenschaften und Anwendungen: Katalyse und Sensorik Im Praktikum wird ein Varistor-Bauelement aus nanokristallinem ZnO hergestellt und strukturell und elektrisch charakterisiert: 1. Festkörperdiffusion und EDX (HRSEM) 2. Spark-Plasma-Sintern von nanokristallinem ZnO und Mikrostrukturentwicklung (HRSEM, XRD) 3. Varistor-Bauelement und I-U-Kennlinie

<b>Ziele</b>
Die Studierenden sind in der Lage, Mikrostruktur insbesondere Korngrenzen und die Auswirkungen auf Festkörpereigenschaften qualitativ zu beschreiben. Die Studierenden verstehen Mechanismen von Festkörperdiffusion und Sintern und Modelle zu ihrer quantitativen Beschreibung. Sie beherrschen Verfahren zur Verarbeitung und Charakterisierung entsprechender Nanomaterialien und die Methoden zur Einstellung verschiedener Mikrostrukturen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten.

## Literatur

### Zur Einführung

- [1] A. S. Edelstein and R. C. Cammarata (eds.), Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, IOP, Bristol 1996
- [2] H. Gleiter, Microstructure, chapter 9 in R. W. Cahn, P. Haasen (eds.), Physical Metallurgy, Elsevier, London 1996
- [3] W. Schilling, K. Urban, and H. Wenzl, Elektrokeramische Materialien, 26. IFF Ferienkurs, Jülich 1995

### Zur Vertiefung

- [4] Y.-M. Chiang, D. Birnie, and W. D. Kingery, Physical Ceramics - Principles for Ceramic Science and Engineering, Wiley, New York 1997
  - [5] J. Maier, Physical Chemistry of Ionic Materials Ions and Electrons in Solids, Wiley 2004
  - [6] M. N. Rahaman, Ceramic Processing and Sintering, Marcel Dekker 2003
  - [7] J. E. Reed, Principles of Ceramics Processing, Wiley 1995
  - [8] R. M. German, Sintering Theory and Practice, Wiley 1996
  - [9] D. Wolf, and S. Yip, Materials Interfaces: Atomic level structure and properties, Chapman and Hall, London 1992
- [10] Original-Literatur zur Vertiefung, z.B. in den Zeitschriften
- Materials Research Society Bulletin
  - Advanced Materials
  - Journal of the American Ceramic Society
  - Acta Materialia
  - Journal of Materials Science

<b>Modulname</b>
<b>Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Gerd Bacher
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. rer. nat. Gerd Bacher

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik	2 (SS)	3 (VS)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und einem Seminar. Die Veranstaltung erläutert die Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik und zielt insbesondere darauf ab, wie durch nanometergroße Strukturen die Bauelement-Eigenschaften eingestellt werden können bzw. neue Bauelementanwendungen möglich werden. Nach der Erarbeitung wesentlicher optischer Eigenschaften von Halbleiter-Nanostrukturen (Quantenfilme, -drähte, -punkte, Übergitter) werden in der Vorlesung die folgenden Themen diskutiert: a) Optoelektronische Bauelemente - Quantenfilmlaser, Quantenkaskadenlaser - Emitter und Einzelphotonenquellen auf Quantenpunkt-/Nanopartikelbasis - Detektoren / Modulatoren auf Nanostrukturbasis b) Nano-Photonik - Grundlagen periodischer Dielektrika, Wellenausbreitung in Dielektrika, Bragg-Gitter - optische Filter, DFB/DBR Laserdioden, Vertikal-Emitter - 2-dimensionale und 3-dimensionale photonische Kristalle

<b>Ziele</b>
Die Studierenden sind nach aktivem Besuch der Veranstaltungen sensibilisiert für Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik. Sie verstehen die grundlegenden Eigenschaften nano-optoelektronischer Bauelemente und sind in der Lage für definierte optoelektronische Anwendungen geeignete Nanostrukturen einzusetzen. Sie können Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz von Nanostrukturen in der Optoelektronik auch unter technischen Randbedingungen (Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit, Kosten usw.) einordnen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Mündliche Prüfung (30 min.)

<b>Literatur</b>
[1] G. Bacher, Nano-Optoelektronik, Skriptum, 2012
[2] S.L. Chuang, Physics of Optoelectronic Devices, John Wiley & Sons, 1995
[3] K. Busch, S. Lölkes, R. Wehrspohn, H. Föll (eds.), Photonic Crystals, Wiley VCH, 2004
[4] M. Grundmann (ed.), Nano-Optoelectronics, Springer, 2002

- [5] Y. Fu und M. Wilander, Physical Models of Semiconductor Quantum Devices, Kluwer Academic Publishers, 1999
- [6] S.M. Sze, Modern Semiconductor Device Physics, John Wiley & Sons, 1998
- [7] N. H. Singh (Hrsg.), Handbook of nanostructured materials and nanotechnology, Academic Press, San Diego, ISBN 0-12-513760-5
- [8] W.A. Goddard III, D.W. Brenner, S.E. Lyshevski, G.J. Iafrate, Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology, 2002, 848 pp., ISBN 0-8493-1200-0

<b>Modulname</b>
<b>Nanopartikel-Entstehungsvorgänge</b>
<b>Modulverantwortliche</b>
Dr. Hartmut Wiggers Prof. Dr. Christof Schulz
<b>Lehrende</b>
Dr. Hartmut Wiggers Prof. Dr. Christof Schulz

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Nanopartikel-Entstehungsvorgänge	1 (WS)	3 (VS)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. Die Veranstaltung beschäftigt sich detailliert mit den physikalisch-chemischen Grundlagen der Partikelbildung (Keimbildung, Wachstum, Ostwald-Reifung, Sinterung, Kondensation) und ihrer modellhaften Beschreibung. Im Wesentlichen werden die Synthese auf nasschemischem Weg (Sol-gel-Verfahren , Fällungsreaktionen u.a.), durch Gashasensynthese (homogene/heterogene Partikelbildung in der Gasphase, Spraypyrolyse u.a.) und durch physikalische Verfahren in ihren Grundlagen behandelt.
<b>Ziele</b>
Die Studierenden sind in der Lage, die Modelle zur Partikelbildung sowie ihre physikalisch-chemischen Grundlagen zu erklären und zu bewerten.
<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Mündliche Prüfung, 30 Minuten Dauer. Die Sprache der Prüfung ist wahlweise Deutsch oder Englisch
<b>Literatur</b>
[1] G. Schmid (Hrsg.), Nanoparticles: From Theory to Application, Wiley-VCH, Weinheim 2003 [2] T. . Kodas and M. Hampden-Smith, Aerosol processing of materials, Wiley-VCH, New York, 1999 [3] A.S. Edelstein and R. C. Cammarata (eds.), Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, IOP, Bristol 1996



<b>Modulname</b>
<b>Nanostrukturierung 1</b>
<b>Modulverantwortliche</b>
Prof. rer. nat. Franz-Josef Tegude
<b>Lehrende</b>
Prof. rer. nat. Franz-Josef Tegude

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Nanostrukturierung 1	1 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 45 (E) = 90	3
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>90</b>		<b>3</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Veranstaltung vertieft die technologischen Verfahren zur Herstellung von nanostrukturierten Materialien und Komponenten und die zugehörigen Analysemethoden an aktuellen Beispielen aus der Bauelementherstellung. Dies beinhaltet: • Moderne Wachstumstechniken für monoatomlagen-genaue Schichtdeposition wie Metallorganische-Gasphasenepitaxie (MOVPE) und Molekularstrahl-epitaxie (MBE), bezüglich Zusammensetzung, Kontrolle der Schichtdicke und Dotierung. • Nutzung von Selbstorganisationsmechanismen und Templateprozessen. • Fortgeschrittene hochauflösende Lithographieverfahren zur Erzeugung nanoskaliger Strukturen (Elektronen- Röntgenstrahl- sowie Rastersonden-Lithographie). • Mikro- und nano-elektronische Fertigungstechniken für elektronische und optoelektronische Nanokomponenten, u.a. für Höchstfrequenzanwendungen. • Laterale und vertikale Verarbeitung von Epitaxie-Filmen, Isolierschichten und Metallisierungen bis hin zu monolithisch integrierten nanoelektronischen Schaltungen. • Zerstörungsfreie Analyse der Nanostrukturen und Bauelemente durch hochauflösende Röntgenstrahl-Beugung und durch die Nutzung der Wechselwirkung von Elektronensonden mit den Materialien. • Analyseverfahren mit mechanischen Sonden (Raster-Tunnel- und die Raster-Kraft-Mikroskopie)

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden sind fähig, den Brückenschlag von grundlegenden Konzepten bei der Herstellung und Charakterisierung von Nanostrukturen zur konkreten Anwendung in der Fabrikation elektronischer und optoelektronischer Nanokomponenten vorzunehmen.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Schriftliche Klausur, 120 Minuten. Die Sprache der Prüfung ist gleich der Sprache der Veranstaltung.

<b>Literatur</b>
[1] E.H.C.Parker (ed.), The technology and Physics of Molecular Beam Epitaxy, New York, Plenum Press 1985
[2] G.B.Stringfellow, Organometallic Vapor-phase epitaxy; Academic Press, San Diego, 1989



<b>Modulname</b>
<b>Nanostrukturierung 2</b>
<b>Modulverantwortliche</b>
Prof. rer. nat. Roland Schmechel
<b>Lehrende</b>
Prof. rer. nat. Rolands Schmechel

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Nanostrukturierung 1	2 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 45 (E) = 90	3
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>90</b>	<b>3</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Veranstaltung befasst sich mit Selbstorganisationsphänomänen zur Strukturbildung. Sie beginnt mit einer Einführung in die statistische Thermodynamik, mit dem Ziel die Extremalprinzipien der klassischen Thermodynamik aus mikroskopischen/statistischen Überlegungen abzuleiten. Im zweiten Teil werden intermolekulare und interpartikuläre Kräfte und Wechselwirkungspotentiale behandelt um daraus qualitative funktionale Abhängigkeiten charakteristischer thermodynamischer Größen, wie chemisches Potential oder Freie Energie für einfache charakteristische Mischsysteme abzuleiten. Im dritten Teil werden dann auf der Basis der vorangestellten Grundlagen Ordnungsphänomene vorrangig in der Flüssigphase wie molekulare Monoschichten, Doppelschichten, Micellen, Vesikel, flüssigkristalline Phasen etc. behandelt und deren Einsatz in der Nanotechnologie beschrieben.

<b>Lernziele</b>
Der Student beherrscht die thermodynamischen Grundlagen der Selbstorganisation. Er kennt den prinzipiellen Zusammenhang zwischen phänomenologischen thermodynamischen Größen und deren statistischer Deutung. Er ist in der Lage, aus Zustandsummen, thermodynamische Größen zu berechnen. Darüber hinaus kennt er die wesentlichen intermolekularen Kräfte und Wechselwirkungen und deren Zusammenhang mit den thermodynamischen Eigenschaften in einfachen Modellsystemen. Für einfache Modellsysteme kann er so Aussagen über die Entropie, die Zustandsumme und das chemische Potential machen. Er ist in der Lage, für einfache Mischsysteme Phasendiagramme zu lesen und mit Hilfe einfacher Modelle Aussagen über kritische Konzentrationen und Formbildungen zu machen. Der Student kennt Beispiele für die Anwendung von Selbstorganisationsphänomenen in der Nanotechnologie.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 Minuten

<b>Literatur</b>
[1] Jacob Israelachvili, Intermolecular & Surface Forces; Academic Press 2. Aufl. 2007 (ISBN: 978-0-12-375181-2)



<b>Modulname</b>
<b>Nichttechnischer Wahlpflichtbereich Nano Master</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr.-Ing. Wolfgang Mertin
<b>Lehrende</b>
Verschiedene Dozenten und Dozentinnen der Universität Duisburg-Essen.

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	2	Wahlpflichtmodul	Wird von der jeweiligen Dozentin bzw. vom jeweiligen Dozenten vor Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
Abgeschlossenes Bachelor-Studium.	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester*)	SWS*)	Arbeitsaufwand in h*)	ECTS-Credits*)
1	Nicht-Technisches Fach 1	1	0	0	4
2	Nicht-Technisches Fach 2	2	0	0	2
<b>Summe</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>

<b>Beschreibung</b>
Insgesamt 6 Credits sind durch Studienleistungen aus dem Angebot nichttechnischer Fächer zu erbringen, davon mindestens 2 Credits aus dem Bereich ingenieurwissenschaftlich orientierte Fächer sowie maximal 4 Credits aus dem Bereich frei wählbare andere Fächer. Die Liste kann je nach aktuellem Angebot aktualisiert werden.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden haben Kenntnisse erlangt, mit denen sie ihre spätere Tätigkeit unter nichttechnischen für die Praxis relevanten Gesichtspunkten (z.B. unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten) einordnen, analysieren und planen können. Darüber hinaus haben sie durch die weiteren nichttechnischen Fächer ihre Allgemeinbildung verbessert und ihre Persönlichkeit gestärkt.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Laut Prüfungsordnung aus den Einzelprüfungen.

<b>Literatur</b>
Wird von den jeweiligen Dozenten bzw. Dozentinnen zu Beginn der Lehrveranstaltung bekannt gegeben.

\*) im nichttechnischen Wahlpflichtbereich (formal mehrere Module) insgesamt 6 ECTS-Credits nach den Vorgaben des Wahlpflichtkatalogs M-NWP (Fächerzahl und Semesterzuordnung sind irrelevant)



<b>Modulname</b>
<b>Optische Signalverarbeitung</b>
<b>Modulverantwortliche</b>
Dr.-Ing. Rüdiger Buß
<b>Lehrende</b>
Dr.-Ing. Rüdiger Buß

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Optische Signalverarbeitung	2 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Vorlesung Optische SignalVerarbeitung beginnt mit der grundlegenden Theorie der nichtlinearen optischen Effekte in dielektrischen Materialien und in Halbleitern. Die Ursachen für optisches Bistabilität werden beschrieben und es wird gezeigt, wie optisches Schalten zur Realisierung optischer Speicher und Logikelemente angewendet werden kann. Nachfolgend wird das Phänomen der optoelektronischen Bistabilität eingeführt. Es wird gezeigt, dass die Integration eines Modulators und eines Photodetektors zum sogenannten Self-Electrooptic-Effect-Device (SEED). Dieses Element zeigt verschiedene Arten von Schaltvorgängen, die optisch und elektrisch gesteuert werden können. Schließlich werden die Einsatzgebiete der optischen Signalverarbeitung anhand speziellen Anwendungsbeispiele diskutiert. Dies sind unter anderem: optische Schaltnetzwerke, Bildverarbeitungssysteme, optische neuronale Netzwerke, parallel-optische Signalprozessoren.

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden sind in der Lage, die physikalischen Mechanismen für die Entstehung optischer Bistabilität zu erörtern und diese bei der Analyse optischer logischer Elemente anzuwenden. Sie sind fähig, die erlernten Konzepte auf Systeme zu übertragen und den Einsatz optischer Signalverarbeitung kritisch mit bereits existierenden elektronischen Ansätzen zu vergleichen.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Klausur mit einer Dauer von 60 bis 120 Minuten. Sprache: Deutsch

<b>Literatur</b>
[1] Börner, Müller, Schiek, Trommer, Elemente der integrierten Optik, Teubner Studienbücher, Elektrotechnik/Physik, Teubner Verlag, Stuttgart, 1990
[2] W. Kowalsky, Dielektrische Werkstoffe der Elektronik und Photonik, Teubner Studienbücher, Elektrotechnik/Physik, Teubner Verlag, Stuttgart, 1994
[3] P. Mandel, S.D. Smith, B.S. Wherrett (Eds.), From optical bistability towards optical computing, Elsevier Science Publishers, North Holland, 1987
[4] H.H. Arsenault, T. Szoplik, B. Macukow (Eds.), Optical Processing and Computing, Academic Press, San Diego, 1989

- [5] S.D. Smith, R.F. Neale, (Eds.), Optical Information Technology – State-of-the-Art Report, Springer Verlag, 1993
- [6] W. Erhard, D. Fey, Parallele digitale optische Recheneinheiten, Teubner Studienbücher, Elektrotechnik/Physik, Teubner Verlag, Stuttgart, 1994
- [7] B.S. Wherrett, P. Chavel (Eds.), Optical Computing, Proceedings of the International Conference, Institute of Physics Conference Series Number 139, IOP Publishing, 1995

<b>Modulname</b>
<b>Organische Elektronik und Optoelektronik</b>
<b>Modulverantwortliche</b>
Prof. Dr. rer. nat. Roland Schmechel
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr. rer. nat. Roland Schmechel

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	Grundkenntnisse aus den Bereichen: Festkörperphysik/Festkörperferelektronik, Quantenchemie und organische Chemie sind von Vorteil

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Organische Elektronik und Optoelektronik	2 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Veranstaltung führt in die organische Elektronik und Optoelektronik ein. Dabei wird stets eine Balance aus grundlegender Molekülphysik und bauteilrelevanten Konzepten angestrebt. Zu Beginn erfolgen eine Klassifizierung der organischen Materialien und eine Einteilung bezüglich ihrer morphologischen/strukturellen Eigenschaften. Ausgehend von den Bindungsverhältnissen wird die elektronische Struktur organischer Halbleiter erläutert und es werden die für organische Halbleiter üblichen Transportmodelle vorgestellt. Dabei wird besonderes Gewicht auf die Elektron-Phonon-Kopplung (Molekülpolaron) und auf den Einfluss von Unordnung gelegt. Es werden Parallelitäten und Unterschiede zu anorganischen Halbleitern hervorgehoben. Die Veranstaltung geht auch auf Konzepte zur Dotierung organischer Halbleiter ein und es werden einige kommerziell relevante „Intrinsisch Leitfähige Polymere“ (ICPs) und Dopanten vorgestellt. Es folgt eine Einführung in Kontaktphänomene an den Grenzflächen Metall/org. Halbleiter. Auf der Basis dieser Kenntnisse werden einfache transportbasierte Bauelemente wie die Einschichtdiode und der organische Feldefekttransistor eingeführt. Weiterhin geht die Veranstaltung auf die optischen Eigenschaften organischer Materialien ein, wobei besonders auf die Bildung von Singulett- und Triplet-Exzitonen und die phononische Kopplungen (Franck-Condon-Prinzip) Wert gelegt wird. Auf Basis dieser Grundlagen werden als optoelektronische Bauteile organische Leuchtdioden und organische Solarzellen vorgestellt. Hier werden die jeweils technisch wichtigen Kenndaten eingeführt und an den historischen Entwicklungsstufen werden grundlegende Bauteilkonzepte erörtert.

<b>Lernziele</b>
Der Student kann organische Materialien bezüglich Morphologie und Bindungsstruktur klassifizieren. Er kennt grundlegende Begriffe aus der Molekülphysik, wie konjugiertes Elektronensystem, Molekülpolaron, Exziton, Franck-Condon-Prinzip und kann diese korrekt anwenden. Der Student kann grundsätzliche Zusammenhänge zwischen Moleküleigenschaften und Bauteileigenschaften herstellen, wie z.B. die Korrelationen: funktionale Seitengruppen – Verschiebung der Molekülorbita

tale, Orientierung der Moleküle –Ladungsträgerbeweglichkeit, Ausdehnung des Pi-Systems – spektrale Verschiebung, etc. Der Student kennt schließlich für Transistoren, Leuchtdioden und Solarzellen die wesentlichen kritischen Parameter, die die jeweiligen Bauteileigenschaften limitieren und die bekannten Konzepte um diesen Limitierungen entgegenzuwirken.

**Studien-/Prüfungsleistung**

mündliche Prüfung mit einer Dauer von 45 Minuten

**Literatur**

[1] M. Schwörer, H.C. Wolf, Organische Molekulare Festkörper, Wiley-VCH Verlag.

<b>Modulname</b>
<b>Photovoltaik 1</b>
<b>Modulverantwortliche</b>
Prof. Dr. rer. nat. Roland Schmechel
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr. rer. nat. Roland Schmechel, Dr. rer. nat. Niels Benson

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Photovoltaik 1	2 (SS)	3 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
In dieser Vorlesung werden die Grundlagen der Photovoltaik bis hin zum vertieften Verständnis einzelner Zellkonzepte behandelt. Die Grundlagen schließen das wirtschaftliche Potenzial der Technologie, das Sonnenspektrum, Ladungsträger Generations- und Transportmechanismen in organischen wie anorganischen Halbleitern sowie die Funktionsweise des pn-Übergangs mit ein. Vertieft werden diese Inhalte hinsichtlich der allgemeinen elektrischen Solarzellenfunktionalität, Verlustmechanismen und Begrenzungen in der Konversionseffizienz. Weiterhin wird im Speziellen auf Solarzellen der 1. Generation: Si und $\mu$ -Si, der 2. Generation: a-Si, organische und Graetzelzellen sowie auf Solarzellen der 3. Generation: Tandem Zellen eingegangen.

<b>Lernziele</b>
Die Studenten sind in der Lage:
• Das Energiegenerationspotential der Technologie zu erklären
• Den Ursprung des photovoltaischen Effekts allgemein und die Funktionsweise einer Solarzelle an konkreten Materialsystemen zu erklären, unter zu Hilfenahme von quasi-Fermi Niveaus und standard Transportmodellen.
• Generations und Rekombinations-mechanismen zu erklären.
• Begrenzungen in der maximalen Konversionseffizienz zu erklären und hierbei zwischen materialbedingten, prozessbedingten und strukturbedingten Begrenzungen zu unterscheiden
• Solarzellen elektro-optisch zu charakterisieren und die Ergebnisse mit Hilfe von Standardersatzschaltbildern zu Interpretieren.
• Solarzellen der drei Generationen zu unterscheiden, deren Funktionsweise zu beschreiben und deren Vor- und Nachteile zu erklären.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Mündliche Prüfung, 45 Minuten

<b>Literatur</b>
[1] J. Nelson, The Physics of solar cells, Imperial College Press, 2003
[2] S.M. Sze, Physics of semiconductor devices, Wiley, 2006
[3] P. Würfel, Physics of solar cells, Wiley-VCH, 2005
[4] M. Schwörer, H.C. Wolf, Organische molekulare Festkörper, Wiley-VCH, 2005
[5] H. Ibach, H. Lüth, Festkörperphysik, Springer-Verlag, 2001



<b>Modulname</b>
<b>Photovoltaik 2</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Thomas Kirchartz
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Thomas Kirchartz

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Wahlpflicht	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Photovoltaik 2	3 (WS)	4 (VS)	60 (P) + 90 (E) = 150	5
<b>Summe</b>			<b>4</b>	<b>150</b>	<b>5</b>

<b>Beschreibung</b>
In der Vorlesung steht die Messung und Simulation von Halbleiterbauelementen am Beispiel der Solarzelle im Vordergrund. Dazu werden zunächst die Grundlagen geschaffen, um die Physik der Solarzelle zu verstehen und sie beschreiben zu können. Dabei werden die wesentlichen physikalischen Größen identifiziert, die den Wirkungsgrad einer Solarzelle beeinflussen, nämlich Ladungsträgerlebensdauer und Beweglichkeit sowie der Absorptionskoeffizient. Im Folgenden werden dann verschiedene Methoden eingeführt und erklärt mit denen man diese Größen bestimmen kann. Die numerische Simulation der Solarzelle ist dabei oft nützlich, um bestimmte Messverfahren besser zu interpretieren und um den Einfluss von Parametern wie Lebensdauer und Beweglichkeit auf die Kennlinie und den Wirkungsgrad einer Solarzelle zu verstehen. Die Vorlesung schließt ab mit einer Einführung in aktuelle Schwerpunkte der Solarzellenforschung wie z.B. druckbare Solarzellen und Perowskit-Solarzellen. Die Veranstaltung richtet sich sowohl an Studierende, die die Veranstaltung Photovoltaik bereits gehört, als auch an Studierende, die diese nicht oder noch nicht gehört haben.

<b>Ziele</b>
Die Studenten werden in der Lage sein: <ul style="list-style-type: none"><li>• die Funktionsweise einer Solarzelle zu erklären,</li><li>• Bänderdiagramme und quasi-Fermi Niveaus im Dunkeln und unter Beleuchtung zu verstehen und zu benutzen,</li><li>• den Unterschied zwischen geordneten (kristallinen) und ungeordneten (nanokristallinen oder amorphen) Halbleitern zu verstehen,</li><li>• Messmethoden zu kennen und zu erklären, die zur Untersuchung von Materialien, Schichten, Schichtstapeln und ganzen Bauelementen in der Photovoltaik genutzt werden,</li></ul>

- Solarzellen mit einer Software numerisch zu simulieren.

### **Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote**

Mündliche Prüfung (45 min.)

### **Literatur**

- The Physics of Solar Cells, Jenny Nelson, Imperial College Press
- Physics of Solar Cells, Peter Würfel, WILEY-VCH
- Advanced Characterization Techniques for Thin-Film Solar Cells, D. Abou-Ras, T. Kirchartz, U. Rau (Eds.), Wiley-VCH

<b>Modulname</b>
<b>Projekt Master NanoEngineering</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Gerd Bacher
<b>Lehrende</b>
Verschiedene Dozenten und Dozentinnen aus den Fakultäten für Ingenieurwissenschaften, Physik und Chemie

Studienjahr	Dauer	Modultyp
2	1	Pflichtmodul

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen	Sprache
keine	keine	deutsch

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Projekt (inkl. Abschlussseminar) Nano Master	3 (WS)	6 (P)	90 (P) + 180 (E) = 270	9
<b>Summe</b>		<b>6</b>	<b>270</b>		<b>9</b>

<b>Beschreibung</b>
In diesem Projekt erhält eine Gruppe von Studierenden eine definierte fachliche Aufgabe im Bereich aktueller Forschung im Umfeld NanoEngineering. Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt im Team und ist wie ein Projekt abzuwickeln, einschließlich Spezifikation, Konzeption, Schnittstellenabsprachen, Terminplanung, (englische) Literaturrecherchen, Präsentation der Ergebnisse (vorzugsweise in englischer Sprache). Es erfolgt eine Benotung der individuellen Leistungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Zur Stärkung der interdisziplinären Ausbildung soll das Projekt Lehrstuhl-übergreifend definiert werden und von mehr als einem/einer Hochschullehrer/in betreut werden.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden lernen systematisch eine Aufgabe / eine Fragestellung aus der aktuellen Forschung zu gliedern, Meilensteine zu definieren und im Team zu lösen. Neben der fachlichen Ausbildung zu aktuellen F&E Fragestellungen werden den Studierenden sehr wesentliche ‘soft-skills’ vermittelt, wie z.B. Teamarbeit, Präsentation (vorzugsweise in Englisch), Literaturrecherche (in englischer Sprache), usw., welche für die spätere Berufstätigkeit erforderlich sind.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Form und Kriterien für die Studienleistung werden gemäß Prüfungsordnung vom Lehrenden zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben.

<b>Literaturrecherche entsprechend der gestellten Aufgabe</b>



<b>Modulname</b>
<b>Quantentheorie</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. Peter Kratzer
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. Peter Kratzer

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Quantentheorie	1 (WS)	3 VÜ)	45 (P) + 105 (E) = 150	5
<b>Summe</b>		<b>3</b>		<b>150</b>	<b>5</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Veranstaltung mit Vorlesung und Übung. Das Modul gibt eine Einführung in die Grundlagen und die mathematischen Methoden der Quantentheorie. Die Schrödinger-Gleichung wird motiviert und ihre Konsequenzen an einfachen Beispielen diskutiert. Ihre Anwendung auf periodische Kristalle wird modellhaft dargestellt und die Bandstruktur der Festkörper physikalisch motiviert. Es wird gezeigt, welche Änderungen auf der Nanoskala aufgrund von Quanteneffekten zu erwarten sind. In der Quantentheorie des Lichts wird die Planck'sche Strahlungsformel behandelt, sowie die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie anhand von einfachen Modellen diskutiert.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden haben Kenntnis erlangt über die grundsätzliche Bedeutung der Quantentheorie für Struktur und Stabilität der Materie. Sie kennen die Schrödinger-Gl. und können ihre Lösungen für einfache eindimensionale Probleme ausarbeiten. Sie verstehen die quantenmechanischen Ursachen für die elektronische Bandstruktur, und können die Bedeutung von Quanteneffekten für Nanostrukturen beurteilen. Des Weiteren haben sie Grundkenntnisse über die Quantennatur des Lichts erlangt.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Schriftliche Klausur, 120 Minuten. Die Sprache der Prüfung ist gleich der Sprache der Veranstaltung.

<b>Literatur</b>
[1] F. Schwabl, Quantenmechanik, Bd. 1, Springer, Berlin & Heidelberg, 1988.
[2] S. Gasiorowicz, Quantenphysik, Oldenbourg, München, 1999.
[3] U. Scherz, Quantenmechanik- eine Einführung mit Anwendungen auf Atome, Moleküle und Festkörper, Teubner, Stuttgart, 1999.
[4] H. Haken und H.C. Wolf, Atom- und Quantenphysik, Springer, Berlin & Heidelberg, 1983.



<b>Modulname</b>
<b>Repetitorium der Maxwellschen Theorie</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Peter Waldow
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Peter Waldow

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Repetitorium der Maxwellschen Theorie	2 (SS)	2(V)	30 (P) + 60 (E) = 90	3
<b>Summe</b>			<b>2</b>	<b>90</b>	<b>3</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Vorlesung dient u.a. der Vorbereitung und Begleitung der Theoretischen Elektrotechnik. Sie versucht den Spagat zwischen mathematischer Strenge und physikalischer Intuition zu schließen. Die Verzahnung zwischen Physik und Mathematik steht im Mittelpunkt der Veranstaltung. In mehreren Lektionen werden die Vektoranalysis und ihre Anwendung auf die Berechnung elektromagnetischer Felder behandelt. Die Darstellung der Maxwellschen Gleichung unter Verwendung des Nabla-Operators (differentielle Form) steht im Mittelpunkt Neben der Theorie erfolgt die Vertiefung anhand anschaulicher Beispiele und Musteraufgaben.

<b>Lernziele</b>
Die Teilnehmer wissen, welche mathematischen Methoden bei der elektromagnetischen Feldtheorie angewendet werden. Sie können die Unterscheidung nach statischen, stationären und dynamischen Vorgängen treffen. Sie können die Unterscheidung zwischen der differenziellen und integralen Formulierung der Maxwellschen Gleichungen treffen und wissen, welche Methode am besten zur Beschreibung spezieller Problemklassen geeignet ist.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Art und Dauer der Prüfung wird gemäß Prüfungsordnung vom Lehrenden zu Beginn des Semesters bestimmt. Möglich ist eine Klausur mit einer Dauer 60 bis 120 Minuten

<b>Literatur</b>
[1] I. Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 1: Elektrostatik, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2005
[2] I. Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 2: Strömungsfelder, Magnetfelder, Wellenfelder, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2007



<b>Modulname</b>
<b>Rheologie 1</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr. Hamid Shahnazian
<b>Lehrender</b>
Dr. Hamid Shahnazian

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Rheologie 1	1 (WS)	3(V)	45 (P) + 75 (E) = 12	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Fließeigenschaften von Stoffen sind in zahlreichen technologischen Bereichen wie der Chemieindustrie, Polymerindustrie und der Verfahrenstechnik von Bedeutung.
Die dabei auftretenden Verhaltensweisen von nicht-newtonischen Flüssigkeiten sind beispielsweise die Viskosität in einer Scherströmung bzw. die Fließgrenze bis hin zu viskoelastischen Effekten wie der Weissenberg Effekt.
In der Vorlesung werden die Grundlagen, empirische und mechanische Flüssigkeitsmodelle vorgestellt.
Im Praktikum sollen die Durchführung rheologischer Untersuchungen vorgestellt werden.

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden beherrschen die Grundlagen, die empirischen und mechanischen Flüssigkeitsmodelle für die Beschreibung von Fließeigenschaften von Stoffen. Die Studierenden können einschätzen, wo die Fließeigenschaften von Stoffen in technologischen Bereichen von Bedeutung sind. Sie kennen die Verhaltensweisen von nicht-newtonischen Flüssigkeiten. Sie besitzen Grundkenntnisse in der Durchführung rheologischer Untersuchungen.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Art und Dauer der Prüfung wird gemäß Prüfungsordnung vom Lehrenden zu Beginn des Semesters bestimmt. Möglich ist eine Klausur mit einer Dauer 60 bis 120 Minuten
<b>Literatur</b>
[1] M. Pahl et al., Praktische Rheologie der Kunststoffe und Elastomere, Düsseldorf, VDI Verlag 1991 [2] G. Böhme, Strömungsmechanik nicht-newtonscher Fluide, Stuttgart, B.G. Teubner Verlag, 2000.



<b>Modulname</b>
<b>Rheologie 2</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr. Hamid Shahnazian
<b>Lehrender</b>
Dr. Hamid Shahnazian

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	Rheologie 1

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Rheologie 2	2 (SS)	3(V)	45 (P) + 75 (E) = 12	4
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>120</b>		<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Aufbauend auf Rheologie 1 sollen bestimmte Stoffsysteme in Rheologie 2 behandelt werden. Hierbei stehen technisch relevante Polymerlösungen und kolloidale Suspensionen im Vordergrund.
Für die Beschreibung der oben genannten Themen wird der Begriff Viskoelastizität eingeführt. Weitere Themen wie Partikelform und Partikelgröße etc. in kolloidalen Suspensionen werden ebenfalls diskutiert. Neben diesen beiden genannten komplexen Fluiden werden weitere komplexe Fluide, wie magnetische Flüssigkeiten eingeführt.

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden kennen die rheologischen Eigenschaften technisch relevanter Polymerlösungen und kolloidale Suspensionen. Sie können mit dem Begriff der Viskoelastizität umgehen. Sie kennen das rheologische Verhalten von Partikeln mit unterschiedlichen Partikelformen und Partikelgrößen in kolloidalen Suspensionen. Des Weiteren können sie mit komplexen Fluiden, wie z.B. in Bezug auf Rheologie umgehen.

<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Art und Dauer der Prüfung wird gemäß Prüfungsordnung vom Lehrenden zu Beginn des Semesters bestimmt. Möglich ist eine Klausur mit einer Dauer 60 bis 120 Minuten

<b>Literatur</b>
[1] R.G. Larson, The Structure and Rheology of Complex Fluids (Topics in Chemical Engineering), Oxford University Press, 1998
[2] S. Odenbach, Magnetoviscous effects of ferrofluids, Springer-Verlag, 2003



<b>Modulname</b>
<b>Silizium-Halbleiterfertigung</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Holger Vogt
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Holger Vogt

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Silizium-Halbleiterfertigung1	3 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 45 (E) = 90	3
<b>Summe</b>		<b>3</b>	<b>90</b>		<b>3</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Herstellung integrierter mikroelektronischer Schaltungen ist einer der komplexesten industriellen Verfahren überhaupt. Unter extremen Anforderungen an Genauigkeit eines jeden Schrittes und an die Umgebungsbedingungen der Fertigung werden die „Chips“ hergestellt. In der Vorlesung zur Halbleiterfertigung, die jeweils im Wintersemester gehalten wird, lernen Sie dieses interessante Gebiet kennen. Vorgestellt werden Technologien der Siliziumtechnik, die über 90% des Chipmarktes abdecken, und aus denen Mikroprozessoren, Speicher und weitere Bausteine entstehen, die Sie z.B. beim Einsatz Ihres Computers nutzen. Ausgangsmaterial der integrierten Schaltungen ist hochreines, einkristallines Silizium, dessen Gewinnung am Anfang der Vorlesung steht. Verschiedene Prozessschritte werden anschließend vorgestellt, immer in einer Mischung aus physikalischen Grundlagen und der praktischen Ausführung in einem Halbleiter-Werk, wie es z. B. im Fraunhofer-Institut besteht. Dazu gehören die Oxidation, Diffusion, Dotierung mittels Ionenimplantation, Abscheideverfahren für dünne Schichten, Ätzverfahren, Messtechnik. Hervorheben möchte ich hier die Lithographie, deren unerhörte Präzision den Fortschritt in der Mikroelektronik ermöglicht hat und auch weiterhin gestattet. Mit optischer Belichtung von Maskenvorlagen sind in einer Massenfertigung Strukturgrößen von weniger als 100 nm (Das ist ein tausendstel Haardurchmesser !) möglich. Die Einzelschritte münden schließlich in einem (CMOS-) Gesamtprozess, der im Detail beschrieben wird. Ziel der Herstellung ist es, CMOS-Bauelemente zu liefern. Deren Parameter und Regeln zum Entwurf werden in engem Zusammenhang zur Herstellungstechnologie vorgestellt. Abschließend stehen die Themen Ausbeute und Zuverlässigkeit auf dem Plan. Beide beeinflussen wesentlich den Erfolg der Mikroelektronik. Während die Ausbeute, d. h. die Anzahl lieferbarer Chips im Verhältnis zum Aufwand der Fertigung über den aktuellen, kommerziellen Erfolg einer Fertigung entscheidet, sind die Maßnahmen zur Sicherung der Zuverlässigkeit wichtig, um den Einsatz der Chips für eine Lebensdauer von 10 oder mehr Jahren zu garantieren.

<b>Lernziele</b>
Die Studierenden kennen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung hochintegrierter (CMOS-) Schaltungen und den CMOS-Gesamtprozessablauf. Sie verstehen den Zusammenhang zwischen Technologie und Bauelementeparametern oder Designregeln, ebenso Einflüsse auf die Ausbeute bei der Herstellung und auf die Zuverlässigkeit der Bauelemente.

**Studien-/Prüfungsleistung**

Mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 Minuten.

**Literatur**

- [1] U. Hilleringmann, Silizium-Halbleitertechnologie, 4. Auflage, Teubner Studienbücher, 2004
- [2] P. Van Zant, Microchip Fabrication. A Practical Guide to Semiconductor Processing,  
4th edition, McGraw-Hill Professional Publishing, 2000

<b>Modulname</b>
<b>Struktur der Materie</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Michael Farle
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. rer. nat. Michael Farle

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	Eigenschaften und Anwendungen von Nanomaterialien 1

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Struktur der Materie	2 (SS)	4 (VÜ)	45 (P) + 75 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>4</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und einer Übung (alternativ Seminar). Die Veranstaltung gibt einen Überblick über die Struktur der Materie anhand spezieller Beispiele. Messmethoden an Großforschungseinrichtungen und in der Transmissionselektronenmikroskopie werden exemplarisch vorgestellt. Themengebiete sind: Reale Gase/ Moleküle, Zusammenhänge der elektronischen Struktur und physikalischer Eigenschaften beim Übergang vom Atom, Molekül, Cluster, Partikel, Festkörper. Kurzer Abriss der nuklearen Wechselwirkungen und Elementarteilchenphysik. Spezielle Themen zur Supraleitung, Kohlenstoffphysis und Magnetismus.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden sind nach aktivem Besuch der Veranstaltungen sensibilisiert für Zusammenhänge von Wechselwirkungen auf verschiedenen Größen-, Zeit- und Energieskalen. Sie verstehen die grundlegenden Eigenschaften der Elektromagnetischen Welle-Materie Wechselwirkung und sind in der Lage geeignete Experimente für spezielle analytische Fragestellungen an Nanostrukturen zu definieren.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Mündliche Prüfung (30 min.)

<b>Literatur</b>
Wird in der Vorlesung bekannt gegeben.



<b>Modulname</b>
<b>Test und Zuverlässigkeit digitaler Systeme</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr.-Ing. Axel Hunger
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr.-Ing. Axel Hunger

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Wahlpflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Test und Zuverlässigkeit von digitalen Systemen	3 (WS)	3 (VÜ)	45 (P) + 70 (E) = 120	4
<b>Summe</b>			<b>3</b>	<b>120</b>	<b>4</b>

<b>Beschreibung</b>
In dieser Veranstaltung werden die Eigenschaften technischer Systeme bei Fehlverhalten hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials analysiert und bemessen. Zudem werden Maßnahmen vorgestellt, mit denen die Qualität technischer Systeme im Sinne einer erhöhten Lebensdauer oder eines sicheren Verhaltens auch im Fehlerfalle erreicht werden kann. Studierende sollen nach Absolvieren der Veranstaltung die theoretischen Grundlagen zur Beschreibung technischer Systeme im Fehlerfalle beherrschen und in der Lage sein, unter den verschiedenen praktisch eingesetzten Methoden diejenige auszuwählen, die für eine gegebene Aufgabestellung die am besten begründeten Ergebnisse unter wirtschaftlich vertretbarem Aufwand liefert. Sie sollen zudem in der Lage sein, das Fehlerverhalten technischer Systeme auf unterschiedlichen Ebenen beschreiben und bearbeiten zu können. Betrachtet werden komplexe mechatronische Systeme, etwa Kraftfahrzeuge und Flugzeuge mit ihren verschiedenen Betriebszuständen ebenso wie Schaltungen und Systeme der Elektrotechnik. Im Bereich des Tests werden digitale Schaltungen und Systeme bis hin zu Rechnersystemen und der auf ihnen laufenden Software behandelt. Teil 1 dieser Vorlesung gibt eine Einführung in die klassische Theorie der Verlässlichkeit (Zuverlässigkeit und Sicherheit). Die Begriffe Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit werden erläutert und die gängigsten Zuverlässigkeitskenngrößen und deren Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktionen vorgestellt. Mit Hilfe von Zuverlässigkeitsblockschaltbildern wird die Verfügbarkeit technischer Systeme modelliert und deren Zuverlässigkeit abgeschätzt. Im Einzelnen werden die Einführung in die Verlässlichkeitstheorie behandelt, Wahrscheinlichkeitstheoretische Grundlagen, Markoffsche Prozesse und Minimalschnittverfahren. Teil 2 behandelt Test und Zuverlässigkeit von Digitalschaltungen. In diesem Abschnitt werden Ursachen von Hardwarefehlern in digitalen Schaltungen und deren Folgen beschrieben. Basierend auf dem klassischen Haftfehlermodell werden Verfahren zur Testmustergenerierung, zur Fehlersimulation sowie zum prüffreundlichen Entwurf (DFT) komplexer Systeme vorgestellt; Schaltungstechnische Maßnahmen zur Erzielung von Fehlertoleranz runden die Behandlung der Hardware ab. Im Bereich von Test und Zuverlässigkeit von Software werden der Entwicklungszyklus sowie verschiedene Vorgehensmodelle beim Entwurf von Software unter dem Gesichtspunkt der Entstehung und Auswirkung von Fehlern vorgestellt. Weiterhin wird der Zusammenhang zwischen Hardwarefehlern und Software behandelt.

## **Lernziele**

Die Studierenden sind in der Lage, Sicherheit und Zuverlässigkeit digitaler Systeme (Hardware, und Software) qualitativ und quantitativ zu ermitteln und zu beurteilen. Sie sind weiterhin in der Lage, die Zusammenhänge zwischen Fehlerentstehung, Test, Simulation, prüffreundlichem Entwurf und Zuverlässigkeit zu beurteilen und diese Methoden in praktischen Anwendungen begründet auszuwählen.

## **Studien-/Prüfungsleistung**

Klausurarbeit mit einer Dauer von 90 Minuten.

## **Literatur**

Teil 1:

[1] H.-D. Kochs, Zuverlässigkeit elektrotechnischer Anlagen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1984

Teil 2:

- [2] H. Al-Asaad, B.T. Murray, J.P. Hayes, Online Bist for embedded systems, IEEE Design & Test of Computers, Oct./Dec. 1998, Seiten 17 - 24
- [3] T. Aven, Reliability and Risk Analysis, Elsevier Science Publishers 1992
- [4] M. Barfuss, V. Blaschke, Watchdog-Schaltungen für Digitalrechner, Verlag TÜV Rheinland 1987
- [5] T.I. Bajenescu, Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten, VDI-Verlag 1985
- [6] E. Dombrowski, Einführung in die Zuverlässigkeit elektronischer Geräte und Systeme, AEG 1970
- [7] Rolf Hedtke, Mikroprozessorsysteme: Zuverlässigkeit, Testverfahren, Fehlertoleranz, Springer Verlag 1984
- [8] W. Görke, Zuverlässigkeit von Rechensystemen, Oldenburg Verlag 1979
- [9] N. G. Leveson, Safeware: system safety and computers, Addison-Wesley 1995
- [10] P.G. Neumann, Computer Related Risks, ACM Press 1995
- [11] D.K. Pradhan (Ed.), Fault Tolerant Computing Theory and Techniques, Volume I, Prentice Hall 1986
- [12] W.G. Schneeweiss, Zuverlässigkeitssystemtheorie, Datakontext Verlag 1980
- [13] E. Schaefer, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit in der Elektronik, Vogel Verlag 1979
- [14] N. Storey, Safety Critical Computer Systems, Addison Wesley 1996, I
- [15] J. Wakerly, Error Detecting Codes, Self-Checking Circuits and Applications, Elsevier North-Holland Inc. 1978

<b>Modulname</b>
<b>Theoretische Elektrotechnik 1</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. sc. techn. Daniel Erni
<b>Lehrender</b>
Prof. Dr. sc. techn. Daniel Erni

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	Kenntnisse in Vektoranalysis, Differenzialgleichungen, Stoffumfang der Veranstaltung "Grundlagen der Elektrotechnik 1,2".

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Theoretische Elektrotechnik 1	1 (WS)	4 (VÜ)	60 (P) + 120 (E) = 180	6
<b>Summe</b>			<b>4</b>	<b>180</b>	<b>6</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und Übung. "Theoretische Elektrotechnik" sind Veranstaltungen, welche das physikalische Verständnis von elektromagnetischen Feldern vertiefen sollen. Sie bilden zudem eine Schlüsselqualifikation für andere Bereiche der Elektrotechnik. In der Energietechnik sind es beispielsweise die Gebiete der Hochspannungstechnik, elektrische Maschinen und im Allgemeinen die der Energieversorgung. Die Vorlesungen "Theoretische Elektrotechnik" stellen in ihrer Gesamtheit aber auch eine Erweiterung des Lehrinhaltes in Richtung der klassischen Elektrodynamik dar, welche wiederum eine Brückenfunktion erfüllt, z.B. für das Gebiet der Hochfrequenztechnik, der Halbleiterelektronik und für die modernen Themenstellungen aus der Nanophotonik und Nanooptik. Das Modul "Erweiterte Feldtheorie 1" besteht ausschließlich aus der Lehrveranstaltung "Theoretische Elektrotechnik 1". Im Verlauf der Vorlesung werden die wichtigsten Elemente der Vektorrechnung, der Vektoranalysis, der Koordinatensysteme und der Tensorrechnung erarbeitet und auf folgende Themenbereiche angewendet: - Elektrostatik, - Das stationäre elektrische Strömungsfeld. Eine detailliertere Beschreibung der Themen findet sich in der Beschreibung der Lehrveranstaltung.

<b>Ziele</b>
Nach dem Besuch der Veranstaltung sind die Studierenden in der Lage, Randwertprobleme aus der Elektrostatik selbstständig zu lösen, Randwertprobleme des stationären Strömungsfeldes selbstständig zu lösen und hierzu analytische oder numerische Berechnungsverfahren einzusetzen, das Verhalten der elektrischen Felder für den Entwurf zukünftiger Bauteile richtig einzuschätzen, stationäre Strömungsfelder in Leitern zu verstehen und deren Verhalten quantitativ zu bewerten. Sie können die Vektorrechnung und die Vektoranalysis im gegebenen Kontext formal korrekt einsetzen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Schriftliche Klausur (120 min).

## Literatur

- [1] P. Leuchtmann, Einführung in die elektromagnetische Feldtheorie, München: Pearson Studium, 2005.
- [2] I. Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 1: Elektrostatik, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2005
- [3] I. Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 2: Strömungsfelder, Magnetfelder, Wellenfelder, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2007
- [4] D.J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, (3rd. ed), San Francisco: Pearson, 2008
- [5] D.J. Griffiths, Elektrodynamik - Eine Einführung, (3. Aufl.), München: Pearson Studium, 2011
- [6] G. Lehner, Elektromagnetische Feldtheorie – für Ingenieure und Physiker, Berlin: Springer Verlag, 2006
- [7] H. Henke, Elektromagnetische Felder – Theorie und Anwendungen, (3. Aufl.), Berlin: Springer Verlag, 2007
- [8] J. A. Stratton, Electromagnetic Theory, Hoboken: John Wiley & Sons / IEEE Press, 2007.
- [9] M. Schwartz, Principles of Electrodynamics, New York: Dover Publications Inc., 1988
- [10] G. Strassacker, Rotation, Divergenz und Gradient - Leicht verständliche Einführung in die Elektromagnetische Feldtheorie, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006

<b>Modulname</b>
<b>Theoretische Elektrotechnik 2</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. sc. techn. Daniel Erni
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr. sc. techn. Daniel Erni

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
1	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	Kenntnisse in Vektoranalysis, Differenzialgleichungen, Stoffumfang der Veranstaltung "Grundlagen der Elektrotechnik 1,2" - Stoffumfang der Veranstaltung "Theoretische Elektrotechnik 1"

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Theoretische Elektrotechnik 2	2 (SS)	4 (VÜ)	60 (P) + 120 (E) = 180	6
	<b>Summe</b>		<b>4</b>	<b>180</b>	<b>6</b>

<b>Beschreibung</b>
Das Modul besteht aus einer Veranstaltung mit Vorlesung und Übung. "Theoretische Elektrotechnik" sind Veranstaltungen, welche das physikalische Verständnis von elektromagnetischen Feldern vertiefen sollen. Sie bilden zudem eine Schlüsselqualifikation für andere Bereiche der Elektrotechnik. In der Energietechnik sind es beispielsweise die Gebiete der Hochspannungstechnik, elektrische Maschinen und im Allgemeinen die der Energieversorgung. Die Vorlesungen "Theoretische Elektrotechnik" stellen in ihrer Gesamtheit aber auch eine Erweiterung des Lehrinhaltes in Richtung der klassischen Elektrodynamik dar, welche wiederum eine Brückenfunktion erfüllt, z.B. für das Gebiet der Hochfrequenztechnik, der Nachrichtenübertragung, der Halbleiterelektronik und für die modernen Themenstellungen aus der Nanophotonik und Nanooptik. Das Modul "Erweiterte Feldtheorie 2" besteht ausschließlich aus der Veranstaltung "Theoretische Elektrotechnik 2". In dieser werden die folgenden Themenstellungen behandelt: (1) Magnetostatik, (2) Quasistationäre Felder, (3) Die elektromagnetische Felddiffusion, (4) Schnellveränderliche Felder. Details sind der Beschreibung der Lehrveranstaltung zu entnehmen.

<b>Ziele</b>
Die Studierenden können elektromagnetische Felder in ihrer Integral- bzw. Differenzialform angeben, magnetische Systeme durch magnetische Ladungen und magnetische Ströme modellieren, eine elektromagnetische Abschirmung konzipieren. Sie verstehen Felder mit harmonischer Zeitabhängigkeit und können sie anwenden. Sie können Strahlungsfelder mathematisch physikalisch korrekt formulieren, und das raum-zeitliche Verhalten von Strahlungsfeldern in Bauelementen und Systemen richtig einschätzen. Unterschiedliche Wellenleiterstrukturen können sie nach deren Zwecksetzung bewerten.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Eine schriftliche Prüfung mit 2 Zeitstunden.

## Literatur

- [1] P. Leuchtmann, Einführung in die elektromagnetische Feldtheorie, München: Pearson Studi-um, 2005
- [2] I. Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 1: Elektrostatik, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2005
- [3] I. Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 2: Strömungsfelder, Magnetfelder, Wellenfelder, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2007
- [4] D.J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, (3rd. ed), San Francisco: Pearson, 2008
- [5] D.J. Griffiths, Elektrodynamik - Eine Einführung, (3. Aufl.), München: Pearson Studium, 2011
- [6] G. Lehner, Elektromagnetische Feldtheorie – für Ingenieure und Physiker, Berlin: Springer Verlag, 2006
- [7] H. Henke, Elektromagnetische Felder – Theorie und Anwendungen, (3. Aufl.), Berlin: Springer Verlag, 2007
- [8] J. A. Stratton, Electromagnetic Theory, Hoboken: John Wiley & Sons / IEEE Press, 2007
- [9] M. Schwartz, Principles of Electrodynamics, New York: Dover Publications Inc., 1988
- [10] G. Strassacker, Rotation, Divergenz und Gradient - Leicht verständliche Einführung in die Elektromagnetische Feldtheorie, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006

<b>Modulname</b>
<b>Thermoelektrik</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Prof. Dr. rer. nat. Roland Schmechel
<b>Lehrende</b>
Prof. Dr. rer. nat. Roland Schmechel, Prof. Dr. rer. nat. Dietrich Wolf, Dr. rer. nat. Gabi Schiering

Studienjahr	Dauer	Modultyp	Sprache
2	1	Pflichtmodul	deutsch

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
keine	keine

Nr.	Veranstaltungen	Semester	SWS	Arbeitsaufwand in h	ECTS-Credits
1	Thermoelektrik	3 (WS)	2 (V)	45 (P) + 45 (E) = 90	3
<b>Summe</b>			<b>2</b>	<b>90</b>	<b>3</b>

<b>Beschreibung</b>
Die Studierenden kennen die Funktionsweise thermoelektrischer Materialien, sowie Ansätze zur Verbesserung der Gütezahl. Sie können die für die Thermoelektrik relevante Messtechnik anwenden.
<b>Lernziele</b>
Die Studenten sind in der Lage: - thermoelektrische und thermomagnetische Phänomene zu erklären - elektrische und Wärmeleitfähigkeit, Seebeck- und Peltier-Koeffizient zu definieren - den Gütekoeffizient ZT und die Effizienz eines thermoelektrischen Generators zu bestimmen - die Grundzüge der Onsagerschen Transporttheorie sowie die Kelvin-Beziehung zu erläutern - die Boltzmanngleichung in der Relaxationszeitnäherung herzuleiten - den elektrischen und Gitterbeitrag zur Wärmeleitfähigkeit im Halbleiter zu diskutieren - messtechnische Konzepte zur Bestimmung der Transport-Koeffizienten anzuwenden - materialwissenschaftliche Optimierungsgesichtspunkte anzuwenden - den Einsatz von Nanopartikeln für thermoelektrische Anwendungen zu erläutern - Effizienzsteigerung durch Reduzierung der Dimensionalität und Energiefilterung zu diskutieren - den Einfluss von Grenzflächen auf elektrischen und Wärmewiderstand zu verstehen
<b>Studien-/Prüfungsleistung</b>
Mündliche Prüfung (45 Minuten)
<b>Literatur</b>



<b>Modulname</b>
<b>Wahlpflichtbereich Nano Master</b>
<b>Modulverantwortlicher</b>
Dr.-Ing. Wolfgang Mertin
<b>Lehrende</b>
Dozenten des Master-Studiengangs NanoEngineering

Studienjahr	Dauer	Modultyp
1+2	2	Wahlpflichtmodul

Voraussetzungen laut PO	Empfohlene Voraussetzungen
Abgeschlossenes Bachelor-Studium	Fachliche Vorkenntnisse abhängig vom gewählten Wahlpflichtfach. Grundlagen aus den ersten beiden Studienjahren werden zumeist vorausgesetzt.

Nr.	Veranstaltungen	Semester*)	SWS*)	Arbeitsaufwand in h*)	ECTS-Credits*)
1	Technischer Wahlkatalog Nano Master S	2 (SS)		0	12
2	Technischer Wahlkatalog Nano Master W	3 (WS)		0	20
<b>Summe</b>				<b>0</b>	<b>32</b>

<b>Beschreibung</b>
Aus einem vorgegebenen Katalog von Wahlpflichtfächern, die dem jeweils aktuellen Angebot angepasst werden kann, müssen mindestens 32 Credits erworben werden. Die Wahlpflichtfächer ermöglichen eine Vertiefung auf den gewählten Gebieten oder ermöglichen eine breitere Ausbildung.

<b>Ziele</b>
Die detaillierten Ziele sind abhängig von den gewählten Fächern und in deren Beschreibung im Modulhandbuch nachzulesen. Zweck sind Vertiefungen und Ergänzungen, überwiegend zu der gewählten Vertiefungsrichtung, aber zum Teil auch aus anderen Bereichen.

<b>Zusammensetzung der Modulprüfung / Modulnote</b>
Laut Prüfungsordnung aus den Einzelprüfungen. Die Art und Dauer der Prüfung wird zu Beginn der Lehrveranstaltung bekanntgegeben. Laut Prüfungsordnung ist eine Klausurarbeit mit einer Dauer zwischen 60 und 120 Minuten oder eine mündliche Prüfung mit einer Dauer von 30 bis 60 Minuten möglich.

<b>Literatur</b>
Wird von den jeweiligen Dozentinnen und Dozenten angegeben.

\*) im technischen Wahlpflichtbereich (formal mehrere Module) insgesamt 32 ECTS-Credits nach den Vorgaben des Wahlpflichtkatalogs M-NWP (Fächerzahl und Semesterzuordnung sind irrelevant)