



# **Modulhandbuch**

## **Master Elektrotechnik**

Prüfungsordnungsversion 2014



# Inhaltsverzeichnis

## Ergänzungsmodule Elektrotechnik

Ergänzungsmodule aus dem Lehrangebot der Universität Ulm. Im Bereich Ingenieurwissenschaften nur Mastermodule. ASQ nur 6 Leistungspunkte - weitere Details entnehmen Sie bitte dem Studienplan Elektrotechnik sowie allen Modulhandbüchern der Universität Ulm

## Modulgruppen Elektrotechnik

### Kernmodule Elektrotechnik

Digital Communications.....	1
Elektronische und optische Materialien.....	3
Elektrische Antriebe I.....	5
HF-Komponenten und Systemdesign.....	8
Integrierte Analogschaltungen.....	10
Messtechnik.....	13
Signal Theory.....	16
Systemtheorie.....	19

### Vertiefungsmodule Elektrotechnik

Advanced Channel Coding.....	21
Advanced Optoelectronic Communication Systems.....	24
Angewandte Mathematik für Ingenieure.....	26
Antennas and Propagation.....	28
Applied Information Theory.....	30
Automatisierungstechnik.....	33
Biosensors.....	35
Channel Coding.....	37
Circuit Design in Nanometer-Scaled CMOS Technologies.....	40
Communications Engineering Seminar.....	42
Communication Systems.....	44
Computational Methods in Materials Science.....	47
Compressed Sensing.....	49
Compound Semiconductors (Verbindungshalbleiter).....	53
Cross - Organizational Distributed Systems and Clouds.....	55
Data Centre Networks Architecture and Protocols.....	57
Dialogue Systems.....	60
Digital Communications.....	63
Digitale Regelungen.....	65
Dünnschichttechnologie.....	67
Einführung in die Optoelektronik.....	70
Electronic System Design using C and SystemC.....	72
Elektronische und optische Materialien.....	75
Elektrische Antriebe I.....	77

<b>Elektrische Antriebe II</b> .....	<b>80</b>
<b>Embedded Security - Informationssicherheit in eingebetteten Systemen</b> .....	<b>83</b>
<b>Energietechnik</b> .....	<b>86</b>
<b>Entwurf integrierter Systeme</b> .....	<b>88</b>
<b>Entwurf und Synthese von Digitalfiltern</b> .....	<b>91</b>
<b>Fahrerassistenzsysteme</b> .....	<b>93</b>
<b>Filter- und Trackingverfahren</b> .....	<b>95</b>
<b>Grundlagen und Anwendungen optischer Displays</b> .....	<b>97</b>
<b>Heterogeneous and Parallel Computing Infrastructures</b> .....	<b>99</b>
<b>HF-Komponenten und Systemdesign</b> .....	<b>101</b>
<b>HF-Systemdesign bei industriellen Forschungsarbeiten</b> .....	<b>103</b>
<b>Identifikation dynamischer Systeme</b> .....	<b>105</b>
<b>Integrierte Analogschaltungen</b> .....	<b>107</b>
<b>Integrated Microwave Systems</b> .....	<b>110</b>
<b>Integrated Interface Circuits</b> .....	<b>112</b>
<b>Introduction to Microwave Communication Systems</b> .....	<b>115</b>
<b>Introduction to Microwave Engineering</b> .....	<b>117</b>
<b>Iterative Methods for Wireless Communications</b> .....	<b>119</b>
<b>Leistungselektronik</b> .....	<b>121</b>
<b>Mechanics of Materials</b> .....	<b>123</b>
<b>Messtechnik</b> .....	<b>125</b>
<b>Methoden der Optimierung und optimalen Steuerung</b> .....	<b>128</b>
<b>Mixed-Signal CMOS Chip Design</b> .....	<b>130</b>
<b>Modellbildung dynamischer Systeme</b> .....	<b>133</b>
<b>Modern Semiconductor Devices</b> .....	<b>135</b>
<b>Monolithic Microwave ICs in High-Speed Systems</b> .....	<b>137</b>
<b>MOS Halbleitertechnik</b> .....	<b>139</b>
<b>Multiuser Communications and MIMO Systems</b> .....	<b>141</b>
<b>Neural Networks and Pattern Recognition</b> .....	<b>143</b>
<b>Nichtlineare Regelungen</b> .....	<b>145</b>
<b>Optical Communications</b> .....	<b>147</b>
<b>Optoelectronic Devices</b> .....	<b>149</b>
<b>Propagation and Antennas</b> .....	<b>151</b>
<b>Radio- Frequency Power- Amplifier Design</b> .....	<b>153</b>
<b>Radar- und Kommunikationssysteme</b> .....	<b>155</b>
<b>Renewable Energy Use and Distributed Energy Technologies</b> .....	<b>157</b>
<b>RF and Microwave Communication Systems</b> .....	<b>160</b>
<b>Satellite Communications and Navigation</b> .....	<b>162</b>
<b>Semiconductor Sensors (Halbleitersensoren)</b> .....	<b>164</b>
<b>Signal Theory</b> .....	<b>166</b>
<b>Systemtheorie</b> .....	<b>169</b>
<b>Technology for Micro- and Nanostructures</b> .....	<b>171</b>
<b>Theory of Digital Networks</b> .....	<b>173</b>
<b>Using the Advanced Design System (ADS) in Electronic Design</b> .....	<b>175</b>
<b>Videotechnologie</b> .....	<b>177</b>

Werkstoffe der Elektrotechnik.....	180
Werkstoffe der Energietechnik.....	183

### **Praxismodule Elektrotechnik**

Project Analog CMOS Circuit Design.....	186
Projekt Autonomes Modellfahrzeug.....	188
Project Design of Integrated Systems.....	190
Project Dialogue Systems.....	192
Projekt Hochautomatisiertes Fahren.....	194
Industriepraxis.....	196
Project Radio Frequency Electronics.....	198
Praktikum Halbleitertechnologie.....	200
Praktikum Informationstechnik.....	202
Praktikum Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente.....	204
Praktikum Mess- und Automatisierungstechnik.....	206
Praktikum Mess- und Entwurfsverfahren in der HF-Technik.....	208
Praktikum Regelungstechnik.....	210
Laboratory Digital Communications.....	212
Lab - Laboratory Automation Techniques.....	214
Lab - Optoelectronics.....	216
Lab - RF Engineering.....	218
Lab - Materials Science II.....	220
Laboratory Vector Network Analysis.....	222

### **Masterarbeit Elektrotechnik**

Masterarbeit.....	224
-------------------	-----



# Digital Communications

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804872270

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer  
Dr. Werner Teich

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik MSc, Kernmodul  
Informationssystemtechnik MSc, Wahlpflichtmodul  
Communications Technology MSc, Pflichtmodul

---

**Vorkenntnisse** Empfohlene Vorkenntnisse  
- signals and systems (discrete and continuous-time signals and systems)  
- fundamentals of random variables and random processes  
- fundamentals of communications (analog and digital transmission)"  
(e.g., modul "Einfuehrung in die Nachrichtentechnik")

---

**Lernergebnisse** The students will be able to assess, compare, and design state-of-the-art digital communication schemes. They can operate with equivalent complex baseband signals and systems and appraise the action of systems on stochastic processes. Digital pulse amplitude modulation and its variants can be explained and devised. The representation of signals in a signal space can be formulated and applied for designing optimum receivers. coherent and non-coherent approaches can be discriminated. Digital modulation formats can be assessed in the power-bandwidth plane. The students will identify and characterize the action of distorting channels and are able to design and evaluate suitable equalizers. The concepts of single- and multi-carrier transmission can be explained, justified and synthesized for new applications.

---

**Inhalt** - Introduction  
- Equivalent complex baseband

---

- Fundamentals of digital communications / digital pulse amplitude modulation (PAM)
- Variants of PAM transmission (CAP, MSK, GMSK) / non-coherent transmission
- Signal space representation
- FSK, CPM
- Channel models and digital transmission over dispersive channels
- Orthogonal frequency-division multiplexing

**Literatur**

- S. Haykin. Communication Systems. John Wiley & Sons, Inc., New York, 3rd edition, 1994.
- J.P. Proakis, M. Salehi. Communication Systems Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle Rive, NJ, 2nd edition, 2002.
- J.B. Anderson, R. Johannesson. Understanding Information Transmission. Wiley-IEEE Press, Piscataway, NJ, 2005.
- K.D. Kammeyer. Nachrichtenübertragung. B.G. Teubner, Stuttgart, 4. Auflage, 2008.
- M. Bossert. Einführung in die Nachrichtentechnik. Oldenbourg, München, 2012.
- J. Lindner. Informationsübertragung. Springer, Berlin, 2005.
- J.G. Proakis. Digital Communications. McGraw-Hill, New York, 4th edition, 2000.
- J.B. Anderson. Digital Transmission Engineering. Wiley-IEEE Press, Piscataway, NJ, 2nd edition, 2005.
- R.E. Blahut. Digital Transmission of Information. Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.
- J.R. Barry, E.A. Lee, D.G. Messerschmitt. Digital Communication. Kluwer Academic Publishers, Boston, 3rd edition, 2003.

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Digital Communications", 4 SWS  
 Exercise "Digital Communications", 2 SWS

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 80 h  
 Preparation and Evaluation: 70 h  
 Self-Study: 60 h  
 Sum: 210 h

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für**

Multuser Communications and MIMO Systems  
 Iterative Methods for Wireless Communications  
 Digital Communications Lab

# Elektronische und optische Materialien

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804872345

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Jun.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Strehle

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Peter Unger  
Prof. Carl E. Krill III, Ph.D.  
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Strehle

---

**Einordnung in die Studiengänge** Mastermodul des Bereichs Ing.Wiss.  
Kernmodul im Master Elektrotechnik

---

**Vorkenntnisse** Inhalte der Vorlesungen  
„Einführung in die Werkstoffe“ (BSc ET),  
„Grundlagen der Halbleiterbauelemente“ (BSc ET)

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können die quantenmechanischen Grundlagen der Festkörperphysik mit Modellen wie Materiewellenlänge, Schrödingergleichung, Fermi-Gas, 3D  $E(k)$ -Banddiagramme, Tunneleffekt, u.s.w. mathematisch beschreiben sowie ihre Bedeutung für die Materialeigenschaften erläutern. Auf diesen Kompetenzen aufbauend können die Studierenden das Phänomen der elektrischen Leitfähigkeit unterschiedlicher Materialsysteme in Abhängigkeit der Dimensionalität sowie bzgl. stationärem und dynamischem Verhalten erklären und mathematisch berechnen. Für die Werkstoffgruppe der Halbleiter kann das Konzept der effektiven Masse sowie die Rekombination und Generation von Ladungsträgern vertiefend beschrieben und auf bisher unbekannte Fragestellungen angewendet werden. Die Studierenden sind in der Lage, unter Berücksichtigung von Randbedingungen, Halbleiterübergänge zu kategorisieren sowie die Auswirkungen auf die zu erwartenden Materialeigenschaften mathematisch abzuleiten. Basierend auf diesen Kenntnissen können die Studierenden unter Anwendung der Quantenmechanik die Photonen-Materie-Wechselwirkung bzgl. Absorptions- und Emissionsverhaltens (z.B. Laserlicht, Fluoreszenz) mathematisch beschreiben und die optischen Eigenschaften berechnen. Ferner können die Studierenden das Funktionsprinzip einer Solarzelle basierend auf den Kenntnissen der Halbleitereigenschaften thermodynamisch beschreiben und Kenngrößen mathematisch ableiten.

---

**Inhalt**

Grundlagen der Festkörperphysik

- Schrödingergleichung
- Welle-Teilchen-Dualismus und Materiewellenlänge
- Fermi-Dirac-Statistik, Fermi-Gas, Zustandsdichten
- 3D Banddiagramme

Elektronische Halbleitereigenschaften

- Elektrische Leitfähigkeit
- Heterogene Halbleiterübergänge
- Kontinuitätsgleichung, effektive Masse, Exzitonen
- Realstruktureffekte

Optische Materialien

- Photonen-Materie-Wechselwirkung
- Grundlagen der Laserphysik
- Photonische Kristalle
- Solarzellen

---

**Literatur**

- N.M. Ashcroft & D.N. Mermin: Festkörperphysik, 4. Auf. Oldenbourg Verlag, 2013
- R.E. Hummel: Electronic Properties of Materials, 4th Ed., Springer, 2011
- M. Grundmann: The Physics of Semiconductors, 2nd Ed., Springer, 2010
- S.A. Maier, Plasmonics: Fundamentals and Applications, Springer, 2007
- M. Fox: Optical Properties of Solids, 2nd Ed., Oxford Univ Pr, 2010

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Elektronische und optische Materialien", 4 SWS  
Übung "Elektronische und optische Materialien", 1 SWS  
Seminar "Elektronische und optische Materialien", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 72 h  
Vor- und Nachbereitung: 48 h  
Selbststudium: 90 h  
Summe: 210 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# Elektrische Antriebe I

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804870408

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Allgemeine Elektrotechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse**

- Integral- und Differentialrechnung; Lösung von Differentialgleichungen, komplexe Zahlen
- Allgemeine Bewegungsgleichungen
- Elektrische und Magnetische Felder, Maxwellsche Gleichungen;
- Berechnung von einfachen Magnetischen Kreisen
- Berechnung von Gleichstrom- und Wechselstromkreisen
- Darstellung und Berechnung von Wechselstromgrößen mit komplexen Zahlen und Zeigern
- Grundkenntnisse über Drehstromtechnik
- Grundkenntnisse über elektronische Bauelemente und Schaltungen

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können ein Antriebssystem mit Antriebsmotoren und Arbeitsmaschinen mit Bewegungsgleichungen berechnen und die Stabilität des Antriebssystems und der Arbeitspunkte beurteilen. Sie sind in der Lage, Antriebsmotoren und Arbeitsmaschinen zu klassifizieren und Einsatzgebiete verschiedener Elektromaschinen zu zeigen. Die Studierenden können die Entstehung des Drehfeldes mit Drehstromwicklungen mit Hilfe der Drehfeldtheorie beschreiben. Sie sind in der Lage, Prinzip, Aufbau und Schaltungen von Elektromaschinen (Gleichstrom-, Asynchron-, Synchron- und Kondensatormaschinen) zu erklären. Sie können Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien, Betriebszustände und Arbeitspunkte von Elektromaschinen mit Hilfe von Spannungsgleichungen, Ersatzschaltbildern und Zeigerdiagrammen berechnen. Die Studierenden sind in der Lage, Steuerverfahren und Schaltungen für Drehzahlsteuerung, Anfahren und Bremsen zu erklären und zu analysieren. Außerdem können sie Prinzip, Schaltungen, Steuerung und Regelung von

---

umrichter gespeisten Elektromaschinen beschreiben und berechnen. Sie sind in der Lage, einen Heylandkreis der Asynchronmaschinen zu zeichnen und auszuwerten.

---

**Inhalt**

- In dieser Vorlesung wird das stationäre Verhalten elektrischer Antriebssysteme behandelt.
- Am Anfang werden die Bewegungsgleichungen hergeleitet und die Stabilität der Antriebssysteme analysiert.
- Dann werden Spannungsgleichungen, Ersatzschaltbilder und Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien von Gleichstrommaschinen, Asynchronmaschinen und Synchronmaschinen hergeleitet.
- Ausgehend hiervon werden Betriebsverhalten, Verfahren zur Drehzahlsteuerung, Bremsung und zum Anfahren der Elektromaschinen behandelt
- Dabei werden auch Schaltungsarten und Möglichkeiten der Drehzahlsteuerung durch leistungselektronische Frequenzumrichter beschrieben.
- Das Zeichnen und Auswerten von Heylandkreisen wird vorgestellt.
- In der Vorlesung werden außerdem elektrische Kleinmaschinen wie Kondensatormaschinen besprochen.

---

**Literatur**

- Skript zur Vorlesung "Elektrische Antriebstechnik I", Univ. Ulm
- Rolf Fischer: Elektrische Maschinen, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1989
- Erich-Herbert Lämmerhirt: Elektrische Maschinen und Antriebe, Carl Hanser Verlag München Wien, 1989
- G. Müller: Elektrische Maschinen, VDE-Verlag GmbH, Berlin u. Offenbach, 1985
- Schröder: Elektrische Antriebe 1, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg und New York 1994
- Hans Kleinrath: Grundlagen elektrischer Maschinen, Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden 1975
- Hans Kleinrath: Stromrichtergespeiste Drehfeldmaschinen, Springer-Verlag, Wien und New York, 1980
- Fritz Kümmel: Elektrische Antriebstechnik, Teil 1: Maschinen, VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach 1986

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Elektrische Antriebe I", 2 SWS (V)  
Übung "Elektrische Antriebe I", 2 SWS (Ü)  
Labor "Elektrische Antriebe I", 1 SWS (P)

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 80 h  
Vor- und Nachbereitung: 80 h  
Selbststudium: 50 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**

-



# HF-Komponenten und Systemdesign

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804872212

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Mikroelektronik

---

**Vorkenntnisse** Einführung in die Hochfrequenztechnik

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden sind nach erfolgreichem Abschluss des Moduls in der Lage, geführte und ungeführte elektromagnetische Wellen mathematisch zu beschreiben. Sie können diese Beschreibung auf Wellenleiter (Rechteck und Rundhohlleiter, Koaxialleitung u. ä.) und daraus gebildete Bauelemente wie Resonatoren und nichtreziproke Bauelemente anwenden. Sie können grundlegende Eigenschaften von Mischern und Oszillatoren auch unter Berücksichtigung der dort wichtigen nichtlinearen Eigenschaften und des Rauschens und Phasenrauschens der Bauelemente beurteilen. Sie beherrschen die grundlegende Wirkungsweise skalarer und vektorieller Netzwerk und Spektrumanalysatoren und können die Geräte in der Messtechnik anwenden.

Die Studierenden sind nach erfolgreichem Abschluss des Moduls in der Lage, Prinzipien der Hochfrequenztechnik zum Entwurf und zur messtechnischen Überprüfung von Systemen aus Kommunikationstechnik und Sensorik anzuwenden. Sie sind fähig, die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Sende-Empfangs-Systeme und deren Subsysteme einzuschätzen. Sie können das Link-Budget und Rausch-Budget für Sende-Empfangs-Systeme berechnen und damit eigene Systemauslegungen durchführen.

---

**Inhalt** Die Vorlesung und Übungen haben im einzelnen die folgenden Kapitel zum Inhalt:

---

- Wellenleitertypen,
- Passive verteilte Bauelemente,
- Oszillatoren, PLL,
- Frequenzumsetzung, Mischer,
- Mischerrauschen, Phasenrauschen,
- Leistungsverstärkung (Klein- und Großsignalverhalten),
- Grundlagen der Hochfrequenzkommunikation mit Empfänger- und Signalerzeugungsarchitekturen,
- Sender-/Empfänger-Systeme, Transponder,
- Auslegung von HF-Systemen, Link-Budget,
- HF-Messtechnik.

---

**Literatur**                    - Vorlesungsskript  
                                     - Lehrbücher siehe Vorlesungsskript

---

**Lehr- und Lernformen**            Vorlesung HF-Komponenten und -Systemdesign. 3 SWS  
    Übung HF-Komponenten und -Systemdesign, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**                Präsenzzeit: 60 h  
    Vor- und Nachbereitung: 60 h  
    Selbststudium: 60 h  
    Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode**        Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                    Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                    Dieses Modul ist Grundlage für einen Teil der im Institut für Mikrowellentechnik durchgeführten Masterarbeiten.

---

# Integrierte Analogschaltungen

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804872269

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch (Wintersemester) / Englisch (Sommersemester)

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher  
Jun.-Prof. Dr. Jens Anders

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc, PO2008, PO2010, PO2012, Wahlmodul  
Elektrotechnik, M.Sc, PO2014, Kernmodul  
Informationssystemtechnik, M.Sc, PO2008, PO2010, PO2012, PO2014, Kernmodul  
Communications Technology, M.Sc., PO 2012, Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., PO 2015, Track Communications Circuits and Systems, Compulsory Module  
Communications Technology, M.Sc., PO 2015, Tack Communications Engineering, Elective Module

---

**Vorkenntnisse** Grundkenntnisse in Halbleiterbauelementen, Analogen Schaltungen, Regelungstechnik und Signalverarbeitung

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden unterscheiden verschiedene Halbleiterbauelemente und deren Technologie. Sie sind in der Lage das Verhalten und die Anwendungsgebiete des MOST und des BJT zu vergleichen. Sie können verschiedene Kompaktmodelle miteinander vergleichen. Die Studierenden erklären das Verhalten des MOS Transistors, seine Arbeitsweise und den Einfluss elektrischer, fertigungs- und umweltbedingter Nichtidealitäten. Sie beschreiben und analysieren Schaltungen auf Transistorebene unter Nutzung der Kleinsignalparameter und leiten Übertragungsfunktionen des linearisierten Systems her. Die Studierenden unterscheiden die Arbeitsweise und Anwendung von einstufigen Verstärkerschaltungen und nutzen Techniken zur Verstärkungserhöhung. Die Studierenden wenden diese Konzepte an, um Differenzverstärker zu entwerfen und zu analysieren. Sie nutzen Konzepte für die Frequenzgangkompensation und Stabilisierung. Die Studierenden können die Vorteile und die Anwendung verschiedener mehrstufiger Differenzverstärkerschaltungen erklären und

---

entwerfen und analysieren diese. Sie nutzen Schaltungssimulatoren um diese Verstärkerschaltungen nach einer vorgegebenen Spezifikation zu entwerfen. Die Studierenden sind in der Lage, den Ursprung elektronischen Rauschens zu beschreiben und einfache Schaltungen bzgl. ihres Rauschverhaltens zu analysieren. Sie wenden das Prinzip des eingangsbezogenen Rauschens an und können Techniken zur Rauschreduktion basierend auf Dimensionierung oder Architektur erklären und anwenden. Die Studierenden beschreiben die Vor- und Nachteile von Schalter- Kondensator-Technik Schaltungen der analogen Signalverarbeitung und können diese analysieren und entwerfen. Sie sind in der Lage, das Wissen auf weitere Anwendungen analoger integrierter Schaltungen anzuwenden. Die Studierenden beschreiben und vergleichen die Funktionalität verschiedener ADC und DAC Konzepte. Sie beschreiben das Prinzip von Überabtastung, Noise-Shaping und wenden dies auf das Konzept des Sigma-Delta Modulators an.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bauelemente und Nichtidealitäten</li><li>• MOS und Bipolar-Transistor / Kleinsignalersatzschaltbilder</li><li>• Onchip-Bias Generierung</li><li>• Grundsaltungen</li><li>• Einstufige CMOS Verstärkerschaltungen</li><li>• Mehrstufige CMOS Differenzverstärker</li><li>• Elektronisches Rauschen</li><li>• Schalter-Kondensator-Technik</li><li>• A/D und D/A Umsetzer</li></ul>
<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Baker, R.J. "CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation", Wiley</li><li>- Razavi, B. "Design of Analog CMOS Integrated Circuits", McGraw-Hill</li><li>- Johns, D. "Analog Integrated Circuit Design", Wiley</li><li>- Sansen, W. „Analog Design Essentials“, Springer</li></ul>
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung „Integrierte Analogschaltungen“, 3 SWS Praktische Übungen „Integrierte Analogschaltungen“, 1 SWS
<b>Arbeitsaufwand</b>	Anwesenheit: 60h Vor- und Nachbereitung: 120h Summe: 180h
<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
<b>Grundlage für</b>	Projekt: Analog CMOS Circuit Design Vorlesung: Circuit Design in Nanometer-Scaled CMOS Technologies Elective Modules Master-Thesis

---



# Messtechnik

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804872322

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof.Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof.Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Mastermodul des Bereichs Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik Master, Kernmodul  
Informationssystemtechnik, Master Kernmodul  
Informatik Master, Wahlfach  
Medieninformatik Master, Wahlfach

---

**Vorkenntnisse** Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung sowie in Grundlagen der Elektrotechnik, wie sie beispielsweise in der gleichnamigen Vorlesung an der Universität Ulm erworben werden.

---

**Lernergebnisse** Fähigkeit, normgerechte Messungen unter Angabe von Fehler- und Genauigkeitsgrenzen zu konzipieren und die dahinter liegende Theorie zu erläutern. Fähigkeit, die wichtigsten physikalischen Sensoreffekte und daraus aufbaubarer Sensoren zur Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen einschließlich Fertigungstechnologien zu nennen und zu erläutern. Fähigkeit grundlegende Methoden, Komponenten und Verfahren der analogen und digitalen elektrischen Messtechnik zu erläutern und hieraus für konkrete Messaufgaben Messaufbauten zu konzipieren. Fähigkeit, Messanordnungen hinsichtlich ihrer zu erwartenden Genauigkeit zu bewerten. Fähigkeit geeignete Sensoren und Sensorprinzipien für eine Messaufgabe auszuwählen und deren Vor- und Nachteile zu benennen.

---

**Inhalt** Die Vorlesung gibt eine Einführung in Methoden der elektrischen Messtechnik zur Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen und in die zur Durchführung von Messungen üblichen Komponenten und Verfahren. Einige nichtelektrische

---

Messgrößen werden hierbei exemplarisch vertiefend behandelt. Im Detail werden Themen behandelt:

- Einheitensysteme, SI-Einheiten
- Klassische Fehlerrechnung
- Fehlerbetrachtungen nach GUM
- Differenz und Kompensationsprinzip in der Messtechnik
- Messumformer und Messverstärker
- Messrauschen
- AD- / DA-Umsetzer
- Digitale Messtechnik
- Korrelationsmesstechnik
- Physikalische Effekte für Sensoren
- Sensoren und Systeme zur Messung von
  - Temperatur
  - Kraft- und Drehmoment
  - Druck
  - Beschleunigung
  - Länge, Abstand und Geschwindigkeit
  - Drehzahl
  - Durchfluss
  - Strahlung

Im Rahmen der Übung werden grundlegende Verfahren in oben genannten Themenschwerpunkten exemplarisch vertieft.

---

<b>Literatur</b>	Reinhard Lerch: Elektrische Messtechnik , 6., bearb. Aufl. 2012, Springer Vieweg Verlag, 2012. Elmar Schrüfer, Leonhard M. Reindl, Bernhard Zagar Elektrische Messtechnik: Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen. 10. Auflage, Hanser Verlag 2012. Hans-Rolf Tränkler, Leo Reindl Sensortechnik: Handbuch für Praxis und Wissenschaft Springer Vieweg Verlag 2014.
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung Messtechnik, 3 SWS Übungen Messtechnik, 1 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 40 h direkte Nachbereitung: 40 h Übungen: 26 h Vor-, / Nachbereitung: 39 h, Prüfungsvorbereitung und Anwesenheit bei der Prüfung: 35 h Summe: 180 h
-----------------------	---

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	-
----------------------	---



# Signal Theory

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804872272

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik MSc, Kernmodul  
Informationssystemtechnik MSc, Kernmodul  
Communications Technology MSc, Wahlpflichtmodul

---

**Vorkenntnisse** recommended  
- signals and systems (discrete and continuous-time signals and systems)  
- fundamentals of random variables and random processes (e.g., modul "Signale und Systeme")

---

**Lernergebnisse** The students will be able to operate with stochastic and deterministic signals. The concept of real and complex-valued stochastic processes and its characteristic quantities can be explained and applied. Spectral representations of processes can be formulated and discriminated. The students will be able to assess and devise mean-square estimators and appraise the fundamental limits. They can explain the characterization and approximation of deterministic signals. The students can operate with the description of signals in a signal space and are able to identify suited bases. Signals with structure can be characterized and categorized. The students can assess and design adequate reconstruction algorithm. The principles of localization and uncertainty can be explained and justified in the time-frequency plane. Adopted transformations can be assessed and discriminated.

---

**Inhalt** Part I: Stochastic Signals  
\* The Concept of Stochastic Processes  
- basic concepts  
- characteristic quantities  
- complex processes (equivalent baseband signals)

---

- \* Spectral Representation and Spectral Estimation
  - innovations
  - Fourier and Karhunen-Loeve expansion
  - spectral estimation / periodogram
  - parameter estimation
- \* Mean-Square Estimation
  - prediction and filtering
  - unbiased estimation
  - Cramer-Rao bound

Part II: Deterministic Signals

- \* Approximation of Signals
  - sampling and equivalent sequences
  - series expansion
  - signal spaces and bases
  - signals with structure / low-dimensional bases
  - compressed sensing
- \* Localization and Uncertainty
  - time-frequency plane
  - local (short-time) Fourier Spectrum / Wavelets

**Literatur**

- Y.C. Eldar, G. Kutyniok (Ed.): Compressed Sensing -- Theory and Applications. Cambridge University Press, May 2012.
- R. Gallager: Stochastic Processes -- Theory for Applications. Cambridge University Press, Dec. 2013.
- R.M. Gray, L.D. Davisson: An Introduction to Statistical Signal Processing. Cambridge University Press, Feb. 2010.
- T. Kailath, A.H. Sayed, B. Hassibi: Linear Estimation. Prentice Hall, 2000.
- S. Kay: Fundamentals of Statistical Signal Processing, Vol. I — Estimation Theory. Prentice Hall, 1993.
- D. Manolakis, V.K. Ingle, Applied Digital Signal Processing -- Theory and Practice. Cambridge University Press, Feb. 2012.
- A. Papoulis: Signal Analysis. McGraw-Hill, 1977.
- A. Papoulis, S.U. Pillai: Probability, Random Variables and Stochastic Processes. McGraw-Hill, 4th ed., 2002.
- H.L. Van Trees: Detection, Estimation and Modulation Theory, Parts I and III. Wiley, 1968/2001.
- M. Vetterli, J. Kovacevic, V.K. Goyal: Foundations of Signal Processing. Cambridge University Press, June 2014.

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Signal Theory", 3 SWS  
 Exercise "Signal Theory", 1 SWS

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 50 h  
 Preparation and Evaluation: 80 h  
 Self-Study: 50 h  
 Sum: 180 h

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**

td

---

# Systemtheorie

Modul zugeordnet zu Kernmodule Elektrotechnik

**Code** 8804870411

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Allgemeine Elektrotechnik  
  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Pflichtmodul

---

**Vorkenntnisse**

- Grundkenntnisse der höheren Mathematik (insbesondere lineare Algebra)
- Beschreibung linearer, zeitinvarianter Systeme (LTI-Systeme) im Frequenzbereich, Laplace-Transformation, Analyse von LTI-Systemen (Bode-/Nyquist-Diagramm)
- Grundlagen der Regelungstechnik im Frequenzbereich, Entwurfsverfahren für lineare zeitinvariante Systeme im Frequenzbereich

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden sind in der Lage, lineare zeitkontinuierliche Mehrgrößensysteme im Zeitbereich zu untersuchen und entsprechend ihrer systemtheoretischen Eigenschaften einzuordnen. Sie können Problemstellungen der linearen Regelungstechnik analysieren sowie geeignete lineare Zustandsregelungen mit gewünschtem Stör- und Führungsverhalten entwerfen. Des Weiteren kennen die Studenten nach Absolvieren der Veranstaltung Methoden zum Entwurf von Zustandsbeobachtern und linearen Folgeregelungen und beherrschen deren Einsatz.

---

**Inhalt**

- Beschreibung linearer zeitkontinuierlicher Systeme im Zustandsraum
- Linearisierung nichtlinearer Systeme
- Allgemeine Lösung der linearen Zustandsdifferentialgleichung
- Strukturelle Eigenschaften linearer zeitkontinuierlicher Mehrgrößensysteme im

---

- Zustandsraum: Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit
- Normalformen und Zustandstransformationen
- Zustandsreglersynthese für Ein- und Mehrgrößensysteme: Vorfilter, Polvorgabe, Ein-/Ausgangsentkopplung, Riccati-Regler (LQR)
- Beobachterentwurf und Separationsprinzip
- Störmodelle und Entwurf von Störbeobachtern
- Lineare asymptotische Folgeregelung durch Ein-/Ausgangsentkopplung
- Zwei-Freiheitsgrade-Regelung mit linearer flachheitsbasierter Vorsteuerung

**Literatur**

- Unbehauen, H.: Regelungstechnik II. 8 Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig, 2000
- Föllinger, O.; Franke, D.: Einführung in die Zustandsbeschreibung dynamischer Systeme mit einer Anleitung zur Matrizenrechnung. Oldenbourg-Verlag, München, 1982
- Föllinger, O.: Regelungstechnik. Hüthig-Verlag, Heidelberg, 1992
- Freund, E.: Regelungssysteme im Zustandsraum I. Oldenbourg-Verlag, München, 1987
- Freund, E.: Regelungssysteme im Zustandsraum II. Oldenbourg-Verlag, München, 1987
- Geering, H. P.: Regelungstechnik: Mathematische Grundlagen, Entwurfsmethoden, Beispiele. 6. Aufl., Springer-Verlag, 2004
- Kailath, T.: Linear Systems. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1980
- Lunze, J.: Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen , Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen. 4 Auflage Springer-Verlag, Berlin, 2006
- F- Lunze, J.: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. Springer-Verlag, Berlin, 2004
- Rugh, W.J.: Linear System Theory. 2. Aufl., Prentice Hall, Upper Saddle River, 1996
- Schulz, R.: Regelungstechnik: Mehrgrößenregelung - Digitale Regelungstechnik
- Fuzzy-Regelung, Band 2. Oldenbourg-Verlag, München, 2002

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Systemtheorie", 3 SWS (V)  
 Übung "Systemtheorie", 1 SWS (Ü)  
 Tutorium "Systemtheorie" unter Nutzung von Matlab, 1 SWS (T)

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 70 h  
 Vor- und Nachbereitung: 100 h  
 Selbststudium: 40 h  
 Summe: 210 h

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für**

Vorlesung Digitale Regelungen  
 Vorlesung Nichtlineare Regelungen  
 Praktikum Regelungstechnik

# Advanced Channel Coding

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870442

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Georg Schmidt

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Optional Module,  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Communications Engineering

---

**Vorkenntnisse** Bachelor. Linear Algebra, Probability Theory, Combinatorics, elementary Galois Theory

---

**Lernergebnisse** The students can analyze, evaluate and compare coding schemes for error detection and error correction which are currently and in future systems used for data transmission, data storage, and data processing. Especially different decoding algorithms, those based on iterative methods as well as those based on algebraic methods can be categorized and combined.

---

**Inhalt** The contents of the lecture can be grouped into two blocks: iterative decoding methods and algebraic decoding methods, which are suited for different kinds of applications. Iterative decoding methods are interesting for operating points close to capacity in applications where codes with large block lengths can be applied. In the lecture, two classes of iterative decoding schemes will be considered. The class of Turbo Codes was introduced 1993 by C. Berrou, A. Glavieux and P. Thitimajshima. A Turbo Code consists of simple parallel concatenated component codes, which can efficiently be decoded by a symbol-by-symbol A

---

Posteriori Probability (s/s APP) decoder. Such an s/s APP decoder is capable of utilizing reliability information from the channel and can compute reliabilities for the code symbols. After formally introducing the concept of reliabilities on the basis of probabilities, the principle of s/s APP decoding will be explained. After this, several tools for analyzing Turbo decoders are considered. Another class of iteratively decodable codes is the class of Low Density Single Parity Check (LDPC) codes. Such codes are either described by sparsely occupied matrices or by bipartite graphs. Both descriptions will be considered, and it will be explained how LDPC codes can be constructed on the basis of these descriptions. After explaining how LDPC codes can be decoded iteratively, tools for analyzing them will be considered. Algebraic decoding of Reed-Solomon (RS) codes is used in many technical data transmission and data storage systems like hard disks, CDs, DVDs, digital video broadcasting, and many other applications. Two types of decoding strategies will be considered: syndrome-based decoding and interpolation-based decoding. Syndrome-based techniques for decoding Reed-Solomon codes are known for more than 30 years, and allow for decoding errors up to half the minimum code distance. Since such methods can be implemented very efficiently, they are applied in many algebraic error correcting schemes. After introducing these classical syndrome-based methods, it will be explained how these techniques may be applied in interleaved Reed-Solomon (IRS) schemes for decoding errors beyond half the minimum code distance. In 1997, M. Sudan proposed a novel algorithm for decoding RS codes, which is based on bivariate polynomial interpolation. This algorithm can also decode errors beyond half the minimum code distance by creating lists of codewords to resolve ambiguous decoding situations. Moreover, derivatives of the Sudan algorithm are capable of using lists of symbols at their inputs. The principles behind such interpolation-based techniques will be considered in the last part of the lecture. It will be explained how the list decoding concept can be used for decoding errors beyond half the minimum code distance, and how the problem of list decoding is solved by the Sudan algorithm and its derivatives. In the exercise, students have the opportunity to implement selected algorithms from the lecture using MATLAB under guidance of a research assistant.

Topics:

Iterative Decoding Methods Turbo-Codes

- A Posteriori Probability (APP) Decoding
- Intrinsic and Extrinsic Information
- Statistical Analysis Methods like Monte-Carlo Simulation and Exit-Chart-Analysis

Low Density Single Parity Check (LDPC) Codes

- Matrix and Graph Representation of LDPC Codes
- Code Construction
- Iterative Decoding by "Message Passing"
- Statistical and Graph-Based Analysis Methods like Density Evolution and Stopping

Sets

Algebraic Decoding Methods Syndrome-Based Techniques

- Reed-Solomon (RS) Codes
- Classical Decoding Approaches like the Peterson-Gorenstein-Zierler and Forney Algorithms
- Interleaved Reed-Solomon (IRS) Codes and Collaborative Decoding
- Interpolation-Based Techniques
- Interpretation of the Decoding Problem as a Polynomial Interpolation Problem
- The Sudan Algorithm and its Derivatives
- List Decoding Concepts

---

## Literatur

- Roth R., Introduction to Coding Theory, Cambridge University Press, 2006

- Justesen J. and Hoeholdt, T., A Course In Error Correcting Codes, EMS Publishing House, 2004
- Bossert M., Channel Coding for Telecommunications, John Wiley & Sons, 1999
- Blahut R. E., Algebraic Codes for Data Transmission, Cambridge University Press, 2003
- MacWilliams F. J. and Sloane N. J. A., The Theory of Error-Correcting Codes, Elsevier, 1977

---

**Lehr- und Lernformen**      Lecture "Advanced Channel Coding", 2 SWS  
Exercise "Advanced Channel Coding", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**      Active Time: 38 h  
Preparation and Evaluation: 32 h  
Self-Study: 50 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**      Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**      -

---

# Advanced Optoelectronic Communication Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870451

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Michalzik

---

**Dozent(en)** apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Michalzik

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** Optical Communications  
Modules "Optical Communications" or "Einführung in die Optoelektronik"

---

**Lernergebnisse** The students can outline the multiplexing techniques used in high-capacity optical transmission systems and discuss their pros and cons. They are able to list available types of single-mode optical fibers and explain how to make fibers more insensitive to bends. They can quantify the transmission distance limitations imposed by modal, chromatic, or polarization mode dispersion and can employ dispersion management as a remedy. The students are able to name and describe nonlinear effects in fibers. They can illustrate different types of optical amplifiers and point out their strengths and weaknesses. They are able to explain the principles of fiber Bragg gratings and select their parameters according to the application. The students can sketch devices suitable for optical multiplexing and demultiplexing and express the merits of planar lightwave circuits. They can illustrate various types of optical switches implemented as optical micro-electro-mechanical systems. The students are able to discuss the optical, electronic, and electrical confinement techniques used laser diodes. They recognize the importance of distributed Bragg reflector, distributed feedback, as well as vertical-cavity surface-emitting lasers and can sketch their layer structures and explain their operation. The students are able to show how serial data rates in optical links can be increased with modulator-assisted phase modulation allowing the implementation of higher-order modulation formats. They can also describe the

principles of corresponding optical receivers as well as the technique of coherent detection.

---

<b>Inhalt</b>	<p>This module provides an advanced overview over modern optical telecommunication and datacom systems as well as associated optoelectronic devices. The students will be able to understand the operation principles, potentials as well as limitations of various technologies. The following topics are addressed:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Introduction to optical communication systems</li><li>- Multiplexing techniques and high-capacity DWDM systems</li><li>- The CWDM approach</li><li>- Single-mode fiber types and bending-insensitive fibers</li><li>- Fiber dispersion limitations and dispersion management</li><li>- Polarization mode dispersion</li><li>- Nonlinear fiber transmission effects</li><li>- Optical amplifiers: EDFA, Raman and semiconductor optical amplifiers</li><li>- Fiber Bragg gratings</li><li>- Devices for optical multiplexing and demultiplexing</li><li>- Planar lightwave circuits</li><li>- Optical MEMS</li><li>- Photon, carrier, and current confinement in laser diodes</li><li>- Advanced laser diodes for use in telecommunications: DBR and DFB lasers</li><li>- Vertical-cavity surface-emitting lasers (VCSELs) for datacom applications</li><li>- 100 Gbit/s transmission systems: Mach–Zehnder modulators, higher-order modulation formats and coherent detection</li></ul>
<b>Literatur</b>	A comprehensive English written manuscript is provided
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Lecture “Advanced Optoelectronic Communication Systems”, 3 hours per week Exercise “Advanced Optoelectronic Communication Systems”, 1 hours per week
<b>Arbeitsaufwand</b>	Active Time: 40 h Preparation and Evaluation: 64 h Self-Study: 76 h Total: 180
<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
<b>Grundlage für</b>	Keine Angaben

---

# Angewandte Mathematik für Ingenieure

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870850

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Max Riederle

---

**Einordnung in die Studiengänge** Mastermodul Ingenieurwissenschaften  
Informationssystemtechnik MSc, Wahlmodul  
Elektrotechnik MSc, Wahlmodul

---

**Vorkenntnisse** Ingenieurbachelor

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden beherrschen wichtige mathematische Methoden der Fachmodule und können sie sicher anwenden und einordnen. Sie können anwendungsnahe mathematische Herleitungen nachvollziehen. Sie können eigene mathematische Lösungsansätze kritisch beurteilen und diese anderen erklären.

---

**Inhalt** Vertiefung der im Bachelorstudium vermittelten Kenntnisse wie zum Beispiel:  
Diagonalisierung  
Jordansche Normalform  
Stochastische Prozesse  
Modellbildung  
krummlinige Koordinaten  
spezielle Funktionen  
...

Die Inhalte werden auf die Bedürfnisse der Studierenden abgestimmt.

---

**Literatur** G. Arfken, H. Weber: Math. Methods for Physicists, Elsevier  
E. Kreyszig: Advanced Engineering Mathematics, Wiley

---

R. A. Horn, C. R. Johnson: Matrix Analysis, Cambridge University Press, 2. Auflage, 2012

---

**Lehr- und Lernformen** Angewandte Mathematik für Ingenieure (V) mit integrierten (Ü), 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 60h  
Vor- und Nachbereitung: 45h  
Prüfungsvorbereitung: 15h  
Summe: 120h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# Antennas and Propagation

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872184

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Communications Technology, M.Sc., Wahlmodul Communications Engineering

---

**Vorkenntnisse** RF & Microwave Engineering or Einführung in die Hochfrequenztechnik

---

**Lernergebnisse** After successful completion of this module, students are able to describe the properties of waves and wave propagation in the atmosphere. They are able to design antennas and antenna arrays with respect to given applications for both communications and sensing. The students are able to analyze antennas in the time domain, and they are able to measure antennas correctly both using an anechoic chamber and by sampling the electromagnetic field in the near-field region.

---

**Inhalt** The module covers in particular the following subjects:  
- wave propagation in the atmosphere,  
- basics of antennas, overview of different antenna types, group antennas, phased arrays,  
- antenna measurement techniques,  
- antennas in time domain.

---

**Literatur** - Lecture handout  
- Text book see lecture handout

---

---

**Lehr- und Lernformen**      Lecture "Antennas and Propagation", 2 SWS  
Exercise "Antennas and Propagation", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**      Active Time: 45 h  
Preparation and Evaluation: 30 h  
Self-Study: 45 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**      Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**      This modul is basis for some of the Master Theses offered by the Institute of Microwave Techniques.

---

# Applied Information Theory

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870422

---

**ECTS-Punkte** 8

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Elective Module, Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Communications Engineering  
Computer Science, M.Sc., Specialization Subject, Informationstheorie

---

**Vorkenntnisse**

- Bachelor
- Probability theory

---

**Lernergebnisse** Information theory provides a measure for information and describes fundamental limits for communication and storage systems with respect to source coding, channel coding, multi-user communication, and cryptology. The students will be able to explain, apply and analyze lossless and lossy source coding algorithms (data compression). Furthermore, they will be able to evaluate the performance with respect to the source coding theorem which states that Shannons uncertainty is the fundamental limit for compression. They can describe and analyze the channel capacity as the fundamental limit of information which can be transmitted error free over a channel using an appropriate code with a certain rate. With this context they can categorize and evaluate channels and transmission methods. For the omnipresent Gaussian noise the channel capacity can be calculated and interpreted. For basic multi-user communication scenarios (broadcast and multiple access) fundamental algorithms (Tomlinson-Harashima, superposition coding, etc.) and their application can be analyzed and evaluated based on the mutual information.

---

These algorithms and methods enable the students to analyze and categorize also scenarios which are not treated in the module or will be developed in the future.

The information theoretic point-of-view of cryptology enables the students to compare, categorize, and evaluate crypto algorithms.

---

## Inhalt

Information theory is the basis of modern telecommunication systems. Main topics of information theory are source coding, channel coding, multi-user communication systems, and cryptology. These topics are based on Shannons work on information theory, which allows to describe information with measures like entropy and redundancy. After a short overview of the whole area of information theory, we consider concepts for statistical modeling of information sources and derive the source coding theorem. Afterwards, important source coding algorithms like Huffman, Tunstall, Lempel-Ziv and Elias-Willems are described. The second part of the lecture investigates channel coding. Important properties of codes and fundamental decoding strategies are explained. Moreover, we introduce possibilities for estimating the error probability and analyze the most important channel models according to the channel capacity introduced by Shannon. The Gaussian channel is very important, and therefore, described extensively. The third part deals with aspects of multi-user communication systems.

We introduce several models and investigate methods that can achieve the capacity regions. Finally, we give an introduction on data encryption and secure communication. In the projects, several information theoretic topics (e.g., Lempel-Ziv-coding) will be investigated by means of implementation tasks.

Overview: Basics:

- Uncertainty (entropy), mutual information
- Fanos lemma, data processing lemma, information theory inequality

Source Coding:

- Shannon's source coding theorem
- Coding methods for memoryless sources: Shannon-Fano-, Huffman-, Tunstall, and arithmetic coding
- Coding for sources with memory

Channel Coding:

- Concepts of linear binary block codes
- Shannon's channel coding theorem
- Random coding and error exponent
- MAP (maximum a-posteriori) and ML (maximum likelihood) decoding
- Bounds (Bhattacharriyya, union, etc.)
- Channels and capacities: Gaussian channel, fading channel

Multi-User Systems:

- Duplex transmission
- MAC (multiple access) channel
- BC (broadcast) channel
- MIMO (multiple input multiple output) channel

Cryptology:

- Problem settings in cryptology
- IT-security

**Literatur**

- Cover, Thomas: Elements of Information Theory, Wiley
- Script 2009 (in German)
- Johannesson: Informationstheorie - Grundlagen der (Tele-) Kommunikation, Addison-Wesley

---

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Applied Information Theory", 3 SWS  
Exercise "Applied Information Theory", 2 SWS  
Project "Applied Information Theory", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 90 h  
Preparation and Evaluation: 150 h  
Sum: 240 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** for Communication Engineering and Wireless

---

# Automatisierungstechnik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870406

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse** - Grundkenntnisse der höheren Mathematik (insbesondere lineare Algebra)  
- Grundlagen der digitalen Schaltungstechnik

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden sind in der Lage, Problemstellungen der Automatisierungstechnik zu analysieren und mit Hilfe von geeigneten ereignisdiskreten Systemklassen zu beschreiben. Sie sind in der Lage, deterministische Automatenmodelle systematisch zu entwerfen und zu analysieren. Des Weiteren können die Studierenden stochastische ereignisdiskrete Systeme und Warte-Bedien-Prozesse in der Automatisierungstechnik modellieren und interpretieren. Nach dem Besuch der Veranstaltung beherrschen die Studierenden zudem den Umgang mit Simulationswerkzeugen zur numerischen Untersuchung der beschriebenen ereignisdiskreten Systemklassen und können die behandelten Methoden auf konkrete Aufgabenstellungen der Automatisierungstechnik anwenden.

---

**Inhalt**

- Grundbegriffe der Automatisierungstechnik und Beispiele ereignisdiskreter Systeme
- Einführung in die Graphentheorie
- Beschreibung und Entwurf deterministischer Automaten
- Kausale und zeitbewertete Petri-Netze
- Zeitdiskrete Markov-Ketten zur Beschreibung stochastischer ereignisdiskreter Systeme
- Warte-Bedien-Systeme und -Netzwerke
- Simulation von deterministischen und stochastischen ereignisdiskreten

---

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Abel D.: Petri-Netze für Ingenieure , Springer-Verlag, 1990</li><li>- Cassandras, C.G., Lafortune, S.: Introduction to Discrete Event Systems. Springer, New York, 2008</li><li>- Hanisch H.-M.: Petri-Netze in der Verfahrenstechnik, Oldenbourg, München, 1992</li><li>- Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Sturrock, D.T.: Simulation with Arena, McGraw-Hill, Boston, 2009</li><li>- Kiencke, U.: Ereignisdiskrete Systeme. Oldenbourg, München, 1997</li><li>- Litz, L.: Grundlagen der Automatisierungstechnik, Oldenbourg, München, 2005</li><li>- Lunze J.: Ereignisdiskrete Systeme, Oldenbourg, München, 2006</li><li>- Lunze J.: Automatisierungstechnik, Oldenbourg, München, 2008</li><li>- Werners, B.: Grundlagen des Operations Research, Springer, Berlin, 2008</li></ul>
------------------	---

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Automatisierungstechnik", 2 SWS Übung "Automatisierungstechnik", 1 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 45 h Vor- und Nachbereitung: 60 h Selbststudium: 45 h Summe: 150 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	-
----------------------	---

---

# Biosensors

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870903

---

**ECTS-Punkte** 3

---

**Präsenzzeit** 2

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher  
Dr. Alberto Pasquarelli

---

**Dozent(en)** Dr. Alberto Pasquarelli

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Microelectronics  
Communications Technology, M.Sc., Elective Module, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** Basic knowledge of chemistry and biochemistry help understanding the biological part of biosensors.

---

**Lernergebnisse** The world-wide needs for chemical detection and analysis rise steadily. Several reasons lead to this trend, for instance the rapid increase in the prevalence of diabetes, the increasing need for environmental and health monitoring, new legislative standards for food and drugs quality control or even the early detection of biological and chemical terror attacks. Thanks to higher sensitivity and specificity, short response times and reduction of overall costs, biosensors can be very competitive in addressing these needs when compared to traditional methods.

Students can describe basic principles, mechanisms of action and applications of biosensors in different scenarios. After taking this module, participants can analyze biosensors, break-down in the elementary components and identify and illustrate every individual function in the information flow, from recognition to transduction and transmission. Students illustrate the clinical and industrial applications differentiate biosensor market sectors, e.g. commodities for everyday consumer needs or professional equipments for research. Furthermore, they are able to understand and critically analyze research in biosensors. Finally students

---

are able to develop appropriate concepts and independently propose solutions for given problems.

---

**Inhalt**

- Introduction to biosensors
- Applications overview
- Biological detection methods: catalytic, immunologic, etc
- Physical transduction methods: electrochemical, optical, gravimetric, etc.
- Immobilization techniques: adsorption, entrapment, cross-linking, covalent bonds
- Biochip technologies: DNA and protein chips, Ion-channel devices, MEA and MTA
- Extras: invited talk(s), experimental exercise, excursion

---

**Literatur**                      Lecture Notes

For in-depth study, following books are recommended:  
Gizeli: Biomolecular sensors, Taylor & Francis (2002), ISBN 074840791X  
Handbook of Biosensors and Biochips, Wiley (2007), ISBN 9780470019054  
Springer e-Books (full pdf download at <https://ulm.ibs-bw.de>):  
Renneberg: Biosensing for the 21st Century, ISBN: 9783540752011  
Orellana: Frontiers in Chemical Sensors, ISBN: 9783540277576  
Homola: Surf. Plasmon Resonance Based Sensors, ISBN: 9783540339199  
Hierlemann: Integr. Chem. Microsensor Syst. in CMOS Techn., ISBN: 9783540273721  
Steinem: Piezoelectric Sensors, ISBN: 9783540365686  
Jay: Modern Food Microbiology, ISBN: 9780387234137  
Morrison: Defense against Bioterror, ISBN: 9781402033841

---

**Lehr- und Lernformen**                      Lecture "Biosensors", lecture with demonstrations and seminars, 1,75 SWS  
Seminar "Biosensors", 0,25 SWS  
Laboratory "Biosensors", 2 x 2 h

---

**Arbeitsaufwand**                      Active Time: 28 h  
Preparation and Evaluation: 50 h  
Self-Study: 12 h  
Sum: 90 h

---

**Bewertungsmethode**                      Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                              Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                              Masters Thesis in the area of biosensors.

---

# Channel Coding

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870426

---

**ECTS-Punkte** 8

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Elective Module, Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module, Communications Engineering  
Computer Science, M.Sc., Specialization Subject, Informationstheorie

---

**Vorkenntnisse** Bachelor

---

**Lernergebnisse** Forward error detection and correction are part of any system for transmission and storage of information in order to protect the information against disturbances during transmission or write/read processes. The students will be able to order, identify, and design block- and convolutional codes as well as coded modulation. Codes with arbitrary parameters - within the fundamental limits - can be composed and rated with generator and parity check matrices and polynomials. They can list, apply, and evaluate (hard, soft, iterative) decoding algorithms for binary and non binary block codes and for convolutional codes. Further, they can explain the fundamental theory and are able to analyze, categorize, and evaluate the majority of code constructions and decoding algorithms also the ones which are not explicitly treated in this modul and the ones which will be developed in the future. The students can explain fundamental limits of code parameters and decoding and can create their own code constructions and examine and compare them and their decoding.

---

## Inhalt

Channel coding has become an essential part in communication and storage systems. Block and convolutional codes are used in all digital standards. The aim of channel coding is to protect the information against disturbances during transmission or write/read processes. Thereby redundancy is added for error detection and for error correction. This course is about basic concepts in channel coding and gives an introduction to the more advanced methods of coded modulation. Lecture topics:

### Linear block-codes

- Generator and parity-check matrix
- Cosets
- Principles of decoding
- Hamming codes
- Bounds for code parameters (Hamming-, Singleton-, Gilbert-Varshamov-Bounds)
- Trellis representation of block-codes
- Plotkin construction, Reed-Muller (RM) codes (relationship to binary PN- and Walsh-Hadamard sequences)
- APP and ML decoding (sequence and symbol based)

### Algebraic coding

- Prime fields, primitive elements, component- and exponent representation
- Reed-Solomon (RS) codes as cyclic codes with generator- and checkpolynomials
- Algebraic error and erasure correction with the Euclidean algorithm
- BCH codes (as subfield subcodes of RS codes)
- The perfect Golay-code as non-primitive BCH-code
- Decoding of algebraic codes (key equation, Euclidean- and Berlekamp-Massey algorithm)

### Convolutional codes

- Algebraic properties
- State Diagram
- Trellis representation
- Error correction capabilities of convolutional codes
- Viterbi- and BCJR algorithm (flow in graphs)

### Further coding and decoding techniques

- LDPC codes
- Permutations-, Majority- and Information-Set decoding
- Dorsch algorithm (ordered statistics decoding)
- Parallel (Turbo)- and serial concatenated codes and their iterative decoding

Introduction to generalized code concatenation and coded modulation Project orientated Lab: LDPC, RS decoding, RM-codes

---

## Literatur

- Bossert, M.: Channel Coding for Telecommunications, Wiley & Sons, 1999
- Bossert, M.: Kanalcodierung , 3.Aufl., Oldenbourg Verlag, 2013
- Johannesson, R., Zigangirov, K. S.: Fundamentals of Convolutional Coding , Wiley-IEEE Press, 1999

---

## Lehr- und Lernformen

Lecture "Channel Coding", 3 SWS  
Exercise "Channel Coding", 2 SWS  
Project "Channel Coding", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**      Active Time: 90 h  
Preparation and Evaluation: 150 h  
Sum: 240 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**      Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**      -

---

# Circuit Design in Nanometer-Scaled CMOS Technologies

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871726

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Jun.-Prof. Dr. Jens Anders

---

**Dozent(en)** Jun.-Prof. Dr. Jens Anders  
Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module,  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System  
Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Microelectronics  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** Voraussetzung für die Kursteilnahme ist die erfolgreiche Teilnahme an der  
Vorlesung  
"Integrierte Analogschaltungen" oder einer äquivalenten Veranstaltung.

---

**Lernergebnisse** The students are able to explain MOSFET operation in deep submicron technologies including short channel and narrow width effects using charge-based transistor modeling. They can identify situations in which a classical square-law based design approach is prone to fail and apply non-square law based design methodologies to synthesize circuits even under these conditions. The students can predict the effects of mismatch and process variations on the performance of integrated circuits and can select operating points to mitigate these effects. Furthermore, they are able to evaluate different layout styles regarding their robustness against mismatch and process variations and select an appropriate layout style for a given application. The students are able to apply advanced linear feedback theory in the form of the Middlebrook and Tian's method to electronic circuits to predict their stability. The students can analyze advanced single-ended and fully-differential op-amp structures and synthesize these structures for a given performance. The students can explain the need for on-chip references and power management and synthesize on-chip voltage references,

current references and voltage regulators. The students can analyze CMOS subcircuits in the presence of noise and distinguish important noise related performance metrics. The students are able to identify main ideas of state-of-the-art research articles and present those ideas to their fellow students.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- MOSFET operation and modern CMOS devices</li><li>- MOS device models</li><li>- Analog Design Styles in deep submicron technologies</li><li>- Feedback theory and closed loop feedback simulation</li><li>- Advanced differential amplifiers</li><li>- References and Power Management</li><li>- Analog filters</li><li>- Advanced A/D Converter Concepts</li></ul>
<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- C. Enz and E. A. Vittoz, Charge-based MOS transistor modeling : The EKV model for low-power and RF IC design. Chichester, England ; Hoboken, NJ: John Wiley, 2006.</li><li>- B. Razavi, Design of analog CMOS integrated circuits. Boston, MA: McGraw-Hill, 2001.</li><li>- W. M. C. Sansen, Analog design essentials. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006.</li></ul>
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Lecture "Circuit Design in Nanometer-Scaled CMOS Technologies", 2 SWS Recitation "Circuit Design in Nanometer-Scaled CMOS Technologies", 1 SWS
<b>Arbeitsaufwand</b>	Lecture: 28 h Lecture preparation and review: 28 h Recitation: 14h Recitation preparation and review: 32h Exam preparation and exam participation: 48 h Total: 150 h
<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
<b>Grundlage für</b>	Masterarbeit

---

# Communications Engineering Seminar

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872461

---

**ECTS-Punkte** 3

---

**Präsenzzeit** 2

---

**Unterrichtssprache** Deutsch / Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert  
Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Minker  
Dr. Werner Teich

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik MSc, Wahlmodul  
Informationssystemtechnik MSc, Wahlmodul  
Communications Technology MSc, Wahlmodul

---

**Vorkenntnisse** Digital Communications  
oder Channel Coding  
oder Applied Information Theory

---

**Lernergebnisse** By means of selected current topics of Communications Engineering (especially Digital Transmission, Information Theory, Coding Theory, and Signal Processing) the student practices presentation skills and working techniques to prepare talks and the required accompanying material. The student is able to cooperate with external experts and specialist in the field in a goal-oriented fashion. He is able to work up and communicate problems from the literature in a systematic and structured manner.

---

**Inhalt** Formal and current, changing topics from the fields of Communications Engineering, Digital Transmission, Information Theory, Coding Theory, and Signal Processing and its related disciplines.

---

**Literatur** Templates for the presentation slides and the handout material are provided; Literature on the topic is proposed; a literature search by the student is part of the seminar.

---

---

**Lehr- und Lernformen** Seminar, 2 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Active Time: 30 h  
Preparation and Evaluation: 60 h  
Sum: 90 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte für das Seminar erfolgt aufgrund der regelmäßigen Teilnahme und der vollständigen Bearbeitung eines übernommenen Themas (Vortrag und schriftliche Ausarbeitung).

---

**Notenbildung** Die Modulnote ergibt sich aus dem Ergebnis des Seminars.

---

**Grundlage für** --

---

# Communication Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870434

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Dozent(en)** Dr. Hans-Joachim Dreßler

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Optional Module  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Communications Engineering  
Embedded Systems, M.Sc., Application Subject, Communication

---

**Vorkenntnisse** Bachelor

---

**Lernergebnisse** Understanding the  
- characteristics of the mobile radio channel and related transmission techniques,  
- network and protocol architecture, basic protocol procedures, physical layer, performance as well as network planning of mobile radio systems  
- principles of OFDM based broadband systems.

---

**Inhalt** Communication systems play a major role in the modern society. Since the 1990ies especially wireless communications is of increasing interest worldwide. For the definition of such systems lots of aspects need to be taken into Consideration.  
Among others frequency band allocation, efficient use of radio and network resources, number of sites required to provide radio coverage, targeted user service characteristics like maximum bit rate and quality and last but not

least cost of implementation. After a short presentation of the wireless communications history the characteristics of the terrestrial mobile radio channel are introduced followed by an overview of basic transmission techniques over such channels. The second part deals with the TDMA based GSM standard. The role of the network elements being part of the overall network architecture and the services available to the users are introduced. Mobility and security aspects, protocol architecture, signalling procedures are further topics. Lower layer specification and related performance which form the basis for cell planning are discussed in detail. In the third part the UMTS standard which is based on WCDMA is explained. The presentation follows a similar structure as compared to the GSM presentation which allows comparison of both systems. OFDM is the next topic and it will become evident why it is of special interest in the case of broadband transmission over dispersive multipath channels. Finally a brief look to market figures concludes the course, thereby demonstrating the huge potential behind the mobile radio market.

---

## Literatur

- Walke: Mobile Radio Networks, John Wiley & Sons, 1999
- ETSI Recommendations for GSM-Standard, [www.etsi.org](http://www.etsi.org)
- Eberspächer, Vögel, Bettstetter: GSM, Global System for Mobile Communication, Teubner, 2001
- Holma, Toskala: WCDMA for UMTS, Wiley, 2006
- Holma, Toskala: HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications, John Wiley & Sons, 2006
- Holma, Toskala: WCDMA for UMTS - HSPA Evolution and LTE, John Wiley & Sons, 2007
- Holma, Toskala: LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access, John Wiley & Sons, 2009
- Holma, Toskala: LTE for UMTS - Evolution to LTE Advanced, John Wiley & Sons, 2011
- Bossert: Channel Coding for Telecommunications, John Wiley & Sons, 1999
- Tse, Viswanath: Fundamentals of Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005
- Dahlmann, Parkvall, Sköld, Beming: 3G Evolution, HSPA and LTE for Mobile Broadband, Academic Press, 2007
- 3GPP Recommendations, <http://www.3gpp.org/specs/numbering.htm>
- 3GPP Recommendations for UMTS Long Term Evolution (Evolved UTRA aspects), <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36-series.htm>
- CPRI (Common Public Radio Interface), <http://www.cpri.info>
- Ramaswami, Sivarajan and Sasaki: Optical Networks: A Practical Perspective, Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier, 2009
- Chris Johnson, Long Term Evolution in Bullets, 2nd edition, 2012, [www.ltebullets.com](http://www.ltebullets.com)

---

## Lehr- und Lernformen

Lecture "Communication Systems", 2 SWS  
 Exercise "Communication Systems", 1 SWS

---

## Arbeitsaufwand

Active Time: 36 h  
 Preparation and Evaluation: 46 h  
 Self-Study: 38 h

Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung. Bei einer erfolgreichen Teilnahme an den Übungen kommt die Regelung für einen Notenbonus zur Anwendung (§ 17 Absatz 3a Rahmenordnung). Ist die Modulprüfung bestanden, wird deren Ergebnis um eine Notenstufe verbessert, jedoch nicht besser als 1,0. Eine Notenverbesserung von 5,0 auf 4,0 ist nicht möglich.

---

**Grundlage für** -

---

# Computational Methods in Materials Science

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870462

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Ulrich Herr

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Ulrich Herr  
Prof. Carl Krill, Ph.D.  
Dr. Ulrich Simon

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Advanced Materials, M.Sc., Compulsory Subject Module, Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module Microelektronics, Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module Automation and Energy Technology, Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module

---

**Vorkenntnisse** Materials Science I and II

---

**Lernergebnisse** Students should be able to recognize the interplay between length/time scales and the computational methods used for simulation in materials science. They can describe the theoretical underpinnings of the finite element method, the phase field method, molecular dynamics and the Monte Carlo method. They are able to explain the strengths and limitations of each of these simulation methods based on practical experience acquired during computer lab exercises. Finally, they can select an appropriate simulation method for solving a given materials science problem computationally.

---

**Inhalt** Introduction  
– Modeling in materials science  
– Numerical solution of differential equations  
Finite element method (FEM)  
– Introduction and fundamentals  
– Linear variational functions  
– Applications in one dimension

---

- General finite element approach
- Examples
- Phase field method
  - Introduction
  - Allen-Cahn model
  - Energy functional
  - Numerical solution methods
  - Application to grain growth
- Molecular dynamics
  - Introduction: statistical mechanics
  - Interatomic potentials
  - Equations of motion, integration
  - Correlation functions
  - Examples
- Monte Carlo methods
  - Introduction
  - Metropolis Monte Carlo algorithm
  - Ising model
  - Resident time algorithm, diffusion

**Literatur**

- M. M. Wolfson, G. J. Pert: An Introduction to Computer Simulation (Oxford, 1999)
- D. Raabe: Computational Materials Science (Wiley-VCH, 1998)
- S. E. Koonin, D. C. Meredith: Computational Physics (Addison-Wesley, 1990)
- D. C. Rapaport: The Art of Molecular Dynamics Simulation (Cambridge, 2004)

**Lehr- und Lernformen**

Lecture “Computational Methods in Materials Science”, 2 SWS  
 Laboratory “Computational Methods in Materials Science”, 1 SWS

**Arbeitsaufwand**

lecture + computer lab (presence): 45 h  
 preparation and revision of lecture notes, lab reports: 55 h  
 exam preparation: 20 h  
 Total: 120 h

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens der schriftlichen Modulprüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für** -

# Compressed Sensing

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871472

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Dr. Dejan Lazich

---

**Dozent(en)** Dr. Dejan Lazich

---

**Einordnung in die Studiengänge**

Mastermodul des Bereichs Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Allgemeine Elektrotechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlmodul  
Communications Technology, M.Sc., Wahlmodul  
Medieninformatik, M.Sc., Wahlmodul

---

**Vorkenntnisse**

*Electrical engineering/computer science :*  
Basic knowledge in signal processing and system theory

*Mathematics:*  
Basic knowledge of linear algebra, probability and statistics

---

**Lernergebnisse**

By attending this course, the students are enabled to present a new, demanding and promising field of information processing, in an easy understandable way. At the end of the course the students will be able to analyze and discuss the underlying concept of compressed sensing based on solving underdetermined systems of linear equations. Likewise, they will be able to implement the main data recovery algorithms and to compare them according to various criteria. By the course, the students are enabled to interpret complex optimization approaches using the geometry of higher dimensions. In this way the students will be continuously motivated and supported to build their own approaches to the matter which may trigger new ideas for improvements. In addition, a variety of implementations of compressed sensing can be explained by the students and new application areas can be identified and discussed. Students will be enabled to deal with the very subject-specific literature and to classify this in the proper context.

---

---

## Inhalt

This course will discuss the theoretical, numerical, and practical foundations of *Compressed Sensing* (CS) which has become a very important concept in recent years in information and signal processing. It allowed an alternative approach to conventional techniques for acquiring and reconstructing sensor input signals. CS is also known as *Compressive Sampling* because it allows sampling of compressible analog signals with sampling rates well below the Nyquist rate. This analog setting of CS allows significant performance improvements of analog-to-digital converters for a broad class of time continuous signals. It is therefore possible to design universal CS based data acquisition systems with compressive sensors for analog and digital sensor input signals, even if these signals are noisy.

The compressibility of certain signals can be exploited by developing novel CS methods which, in comparison to traditional approaches like the transform coding, involve far less processing effort for data compression. On the other hand, CS requires far more effort in order to reconstruct a sensor input signal. Accordingly, CS can help to resolve data deluge in complex sensing networks, where the number and resolution of the sensors grow to a point where the performance bottleneck moves to data processing in sensors. To avoid this raw data accumulation, new designs of data acquisition systems are proposed. They combine sensing and compression in one simple operation, replacing conventional sensors with compressive sensors. Instead of acquiring a massive amount of raw data and extracting the information afterwards, compressive sensors attempt to acquire the information directly.

Data compression using CS is performed by means of a simple linear superposition, while the decompression is based on optimization algorithms for finding the unique sparsest solution of an underdetermined system of linear equations. There are multiple approaches for solving this optimization problem, e.g. the generic *Basis Pursuit* algorithm. This fundamental CS de-compression method is based on an optimization with respect to the L1-norm.

The principles of compressed sensing are difficult to comprehend from the available literature without prior special knowledge, since they encompass specific aspects and languages of many mathematical fields. The most relevant subjects to CS are high-dimensional geometries of Euclidean and Banach spaces, random matrices, information and approximation theory, linear and convex programming, harmonic analysis, and combinatorics.

This highly challenging abstract approach to compressed sensing will be in these lectures replaced by a simpler, expressive and application-oriented approach easy understandable for engineers. The underlying principle of this new research field will be systematically explained. The lectures and exercises will illuminate the basic principles of CS using the elementary language of signal processing, linear algebra and geometry only.

The main topics of the course include:

- Big data research and development
- Signal representation using bases and frames
- Traditional and generalized sampling of analog signals
- Overview of sparse recovery - discrete and analog setting
  - Recap of the necessary concepts from linear algebra
  - Sparsity and measurement basis and frames (dictionaries)
  - Sensing matrices and recovery equations
  - Geometric interpretation of linear systems of equations
    - Some terms of functional analysis and inner product spaces
- Basics of multidimensional Euclidean geometry
- Linear and affine subspaces, convex polytopes

- Arrangements of hyperplanes
- Configurations of sparse solutions
  - Robustness of CS
  - Recap of linear optimization methods
  - Types of reconstruction algorithms in CS
  - L1-minimization
  - Basic pursuit
- Orthogonal matching pursuit
  - Theoretical limits of CS
  - Mutual incoherence property
  - Null space property
  - Random matrices and the restricted isometry property
  - Stochastic geometry, the polytope model and face survival
  - Weak and strong phase transitions
  - Sensing matrix design, deterministic sensing matrices
  - CS using antipodal best spherical codes
  - CS for A/D converters and other RF applications
    - Application of CS to image processing and to medical imaging
    - Application of CS to channel coding and cryptography
    - Application of CS to radar technology
    - Application of CS to genetics: DNA-micro-arrays and DNA-sequencing
    - CS in femto photography
    - Perspectives of compressed sensing

## Literatur

There is no introductory textbook yet, nor a detailed tutorial on compressed sensing. Therefore, the lectures and exercises are completely accompanied with detailed slides available as downloads on the web-site of this course. Additional teaching materials and supplementing reading material are also placed on the course web-site. This webpage will provide general course information, resources (links to books, papers, presentations and tutorials) that augment the lectures, as well as homework assignments and creative exercises.

As a basic literature, the Chapter 1 from the following book is recommended:

Y. Eldar, G. Kutyniok (Editors): „Compressed Sensing“, Cambridge Univ. Press 2012, Chapter 1: M. A. Davenport, M. F. Duarte, Y. Eldar, G. Kutyniok: *Introduction to Compressed Sensing* . It is online available on:

<http://www-stat.stanford.edu/~markad/publications/ddek-chapter1-2011.pdf>

or on

<http://www.dfg-spp1324.de/download/preprints/preprint093.pdf>

A similar text to the above with some more details is

R. Baraniuk, M. A. Davenport, M. F. Duarte, C. Hegde: „An Introduction to Compressive Sensing“, online available on:<http://cnx.org/content/col11133/latest/>

As a literature for advanced readings, the following review paper is recommended:

A. M. Bruckstein, D. L. Donoho, and M. Elad (2009): *From Sparse Solutions of Systems of Equations to Sparse Modeling of Signals and Images* , SIAM Review, Vol. 51, No. 1, Pages 34-81.

An extensive list of scientific contributions and other literature from the field of compressed sensing is on the website at Rice University: <http://dsp.rice.edu>. Further resources can be found on: The Nuit Blanche Blog <http://nuit-blanche.blogspot.de>

---

**Lehr- und Lernformen** Lectures "Compressed Sensing", 2 SWS  
Exercise "Compressed Sensing", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Lecture: Attendance: 30 h, direct follow-up: 35 hours  
Exercise: Presence: 15 hours, direct follow-up: 25 hours  
Lecture follow-up as exam preparation and attendance during exam 45 h, total: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer mündlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** Master Thesis

---

# Compound Semiconductors (Verbindungshalbleiter)

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870461

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Ferdinand Scholz

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Ferdinand Scholz

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Advanced Materials, M.Sc., Optional Module, Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Microelectronics, Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology, Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** Kenntnisse und Kompetenzen der Module: Grundlagen der Halbleiterphysik

---

**Lernergebnisse** After successfully having finished the module, the students are able to describe the basic physics of compound semiconductors and contrast them to those of elemental semiconductors. They are able to describe important characteristics like band gap, lattice constant or refractive index and identify their systematic trends. They are able to derive from those basics the application possibilities of compound semiconductors and discuss their advantages and disadvantages. They are able to describe and compare the most important fabrication and characterization methods. They are able to describe the constitution of the most important basic hetero structures and explain their mode of operation. Based on that, they are able to develop the structure of important representative devices like light emitting diodes or laser diodes and to describe in detail the function of the respective structural details.

---

**Inhalt**

- Basics of Semiconductors, Compound Semiconductors
- Bulk crystal growth, liquid phase epitaxy, vapor phase epitaxy, molecular beam epitaxy
- Optical processes, spectroscopic methods

---

- Electrical characterisation methods
- x-ray diffraction, microscopy methods, other characterisation methods
- Strain in semiconductor structures
- Low-dimensional structures: quantum wells, wires, dots
- Semiconductor Light emitters and Laser Diodes
- Short Wavelength materials: Group III nitrides
- Electronic devices: HEMTs, HBTs
- Solar Cells

**Literatur**

- skript to lecture
- C. Kittel, Introduction to Solid State Physics (John Wiley, New York, 1996)
- O. Madelung, Grundlagen der Halbleiterphysik, Springer
- R.J. Malik (Volume Ed.), F.F.Y. Wang (Series Ed.), Materials Processing, Theory and Practices, Vol. 7: III-V-Semiconductor Materials and Devices, North-Holland, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo 1989
- T.S. Moss (ed.) Handbook of Semiconductors, Elsevier, Amsterdam 1994
- D.T.J. Hurle (ed.), Handbook of Crystal Growth, North-Holland, Amsterdam 1993, Vol. 1-3
- S.M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, John Wiley
- R.K. Willardson, A.C. Beer, Semiconductors and Semi-metals, Book Series Academic Press; g. Vol. 22, Vol. 24
- E. Rosencher, B. Vinter, Optoelectronics, Cambridge University Press 2002
- K.J. Ebeling; Integrated optoelectronics : waveguide optics, photonics, semiconductors  
Berlin ; Heidelberg [u.a.] : Springer, 1993

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Compound Semiconductors", 3 SWS  
Exercise "Compound Semiconductors", 1 SWS

**Arbeitsaufwand**

Preparation and Evaluation: 56 h  
Active Time: 74 h  
Self-Study: 50 h  
Sum: 180 h

**Bewertungsmethode**

Participation in lectures and exercises, own seminar talk, typically oral examination, otherwise written exam with duration of 120 minutes

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für**

-

# Cross - Organizational Distributed Systems and Clouds

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872092

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Stefan Wesner

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Stefan Wesner

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Recommended Optional Module,  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module

---

**Vorkenntnisse** Basic knowledge of distributed systems and/or communication networks

---

**Lernergebnisse** After this course students will have an in-depth understanding of cross-organisational and cloud-based systems and an overview over the state of the art. They will be able to name and describe the architectural principles from Infrastructure over Platform up to Software as a Service concepts. Students will have an understanding of the different cloud software stacks and solutions, and will be able to assess their advantages and limitations. Additionally, they will understand the challenges and solution approaches to deliver Cloud-based services not only from a consumer's, but also from a data centre operator's perspective. They will also learn how Service Level Agreements help in meeting business requirements. The students will be able to differentiate between cloud solutions and local systems and assess them from an economic viewpoint. At the end of the course, the students will have an understanding of the challenges addressed by current research projects.

---

**Inhalt** In the first part of this course, the basics and specific challenges of cross-organisational distributed systems will be discussed. Starting from approaches such as Metacomputing, Grid Computing and virtualisation technologies, the concepts behind Clouds will be introduced. The different layers of Cloud

---

provisioning (XaaS) will be explained in the context of current Cloud-based solutions. It will be explained how the concept of Service Level Agreements affect Cloud service hosting and delivery, in particular in terms of performance and cost. The impact on networks and the relationship to Network Function Virtualization and Software Defined Networking will be discussed.

The course will conclude with selected themes from "Future Clouds" and current research and development efforts in academia and industry. Lectures will be amended with guest speakers from collaborating institutions from academia and industry, where appropriate.

---

<b>Literatur</b>	<p>The future of Cloud Computing, <a href="http://cordis.europa.eu/fp7/ict/ssai/docs/cloud-report-final.pdf">http://cordis.europa.eu/fp7/ict/ssai/docs/cloud-report-final.pdf</a></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- John Rhoton, Risto Haukioja, Cloud Computing Architected - Solution Design Handbook</li><li>- Rajkumar Buyya, James Broberg, Andrzej M. Goscinski, Cloud Computing: Principles and Paradigms</li><li>- Nicholas Carr, The Big Switch: Rewiring the World, from Edison to Google</li><li>- Dimitrakos, Martrat, Wesner, Service Oriented Infrastructures and Cloud Service Platforms for the Enterprise: A selection of common capabilities validated in real-life business trials by the BEinGRID consortium</li><li>- Bill Wilder, Cloud Architecture Patterns: Using Microsoft Azure</li></ul>
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	<p>Lecture "Cross-organizational distributed systems and Clouds", 2 SWS Exercise "Cross-organizational distributed systems and Clouds", 1 SWS Seminar "Cross-organizational distributed systems and Clouds", 1 SWS</p>
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	<p>Active Time: 60 h</p> <p>Preparation and Evaluation: 40 h</p> <p>Self-Study: 80 h</p> <p>Sum: 180 h</p>
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	<p>Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer mündlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.</p>
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	<p>Die Note entspricht dem Ergebnis der mündlichen Prüfung.</p>
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	<p>Masterarbeit</p>
----------------------	---------------------

---

# Data Centre Networks Architecture and Protocols

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872498

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Stefan Wesner

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Stefan Wesner

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Optional

---

**Vorkenntnisse** Basic knowledge of distributed systems and/or communication networks

---

**Lernergebnisse**

After this course students will have an extended understanding of network architecture and protocols with a focus on the specific challenges, approaches and technologies, products of storage and data-centre networks.

In order to achieve this the deployed protocols and topologies in the field of storage networks (e.g. iSCSI, SAN, NAS, iSER) and for the realization of large computing facilities and data centers (e.g. Infiniband, Data Centre TCP) are covered. Furthermore the basic design principles and architectures for large scale data centers, the available technologies and procedures (e.g. benchmarking, performance and power efficiency indicators, ...) to optimize such architectures are covered. This covers approaches to achieve low latency and high speed network components as well as emerging technologies such as Software Defined Networking (SDN).

The primary teaching goals are to allow course participants to name and describe the technologies and protocols used for low latency and high performance applications such as data centers. Participants will understand the pros and cons of different approaches and learn how to evaluate their applicability in different context and examples. The participants will learn to apply these technologies and background knowledge to design data centre networks and architectures for different applications (e.g. Big Data Analytics, Scientific Computing, Server Farming, Cloud Computing, ...)

As background material mostly protocol specifications and primary literature and publications are used.

The exams repeat the topics from the lecture with a more practical viewpoint and validate the knowledge based on exercises. The exercises will enable the participants to solve smaller design challenges for storage networks and will evolve over the course up to design of complete data centre systems using the technology introduced in the course for different application domains. The seminar allows participants to experiment with technology and to realize specific set-ups applying the knowledge.

---

**Inhalt** The area of data centre and storage networks is characterized by a large focus on optimization for high speed and bandwidth as well as extreme requirements for low latencies. In particular for very large data centers in the field of Big Data analytics, scientific computing/simulation or server farming these requirements combined with the boundary conditions of cost optimizations and performance/cost balance are very challenging. The design of such systems does not only demand for selecting the most appropriate protocols but similarly asks for creative solutions combining them in order to achieve a balanced solution between performance and costs.

In this course mature and emerging technologies in the field of high performance and data centre networks are presented. The capabilities of the different technologies will be discussed along specific use cases e.g. for realizing high performance parallel filesystems, data centers to support large scale data analytics or compute intensive simulation applications from different fields such as automotive or chemistry.

---

**Literatur**

- Troppens, Ulf: Storage networks explained: basics and application of Fibre Channel SAN, NAS, iSCSI, InfiniBand and FCoE, 2009
- Dally, W.: Principles and Practices of Interconnection Networks. (Morgan Kaufmann Series in Computer Architecture and Design)
- Kim, J. ; Dally, W. ; Scott, S. ; Abts, D. Cost-Efficient Dragonfly Topology for Large-Scale Systems
- Peter Kogge et. al. ExaScale Computing Study: Technology Challenges in Achieving Exascale Systems- Selected Publications and specifications of the protocols

---

**Lehr- und Lernformen** Data Centre Network Architecture and Protocols (L) , 2 SWS  
Data Centre Network Architecture and Protocols (E), 1 SWS,  
Data Centre Network Architecture and Protocols (S), 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Active Time: 60 h  
Preparation and Evaluation: 40 h  
Self-Study: 80 h  
Sum: 180h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens der mündlichen Modulprüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.



# Dialogue Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870423

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Dr. Wolfgang Minker

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Dr. Wolfgang Minker

---

**Einordnung in die Studiengänge**

- Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Ingenieurwissenschaften
  - Informatik, M.Sc., Vertiefungsfach Mensch-Maschine Dialogsysteme
  - Informatik, M.Sc., Kernfach Praktische und Angewandte Informatik
  - Medieninformatik, M.Sc., Kernfach Praktische und Angewandte Informatik
  - Medieninformatik, M.Sc., Anwendungsfach Dialogsysteme
  - Medieninformatik, M.Sc., Vertiefungsfach Mensch-Maschine Dialogsysteme
  - Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik
  - Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik
  - Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul (Ing/Inf)
- 

**Vorkenntnisse**

Es sind im Wesentlichen keine Vorkenntnisse aus anderen Vorlesungen notwendig. Die Vorlesung ist auch für Studenten aus anderen Fakultäten geeignet. Kenntnisse in den Bereichen digitale Signalverarbeitung, Kybernetik und Statistik sind hilfreich.

---

**Lernergebnisse**

Der Studierende soll durch Teilnahme an der Lehrveranstaltung die folgenden Fähigkeiten erlangen:

- Allgemeines theoretisches Verständnis der multimodalen Sprachdialogtechnologie;
  - Kenntnis der Grundlagen der Sprachverarbeitung; Verstehen der grundlegenden Probleme der Sprachsynthese, der Spracherkennung, der semantischen Analyse sowie der Dialogmodellierung; Vorstellung einiger ausgewählter Lösungsansätze; Veranschaulichung durch Anwendungen und Produkte;
  - Überblick über den aktuellen Stand der Technik;
  - Verständnis des interdisziplinären Charakters des Forschungsfeldes;
  - Praktische Fertigkeiten durch die Teilnahme an Übungen mit echten Systemkomponenten auf unterschiedlichen Verarbeitungsebenen.
-

---

**Inhalt**

Diese Vorlesung führt in das Gebiet der multimodalen Sprachdialogtechnologie ein. Einen besonderen Schwerpunkt bilden dabei die akustische Signalverarbeitung, Sprachsignalanalyse, Spracherkennung, natürliches Sprachverstehen, Dialogmanagement und Sprachsynthese. Die Themen werden in praktischen Übungen und Demonstratoren von Produkten und Anwendungen nähergebracht. Vor

Ort ansässige Industrieunternehmen, die im Bereich der multimodalen Sprachdialogsysteme arbeiten, werden Gastvorlesungen halten.

Themen:

1. Menschliche Kommunikation: Sprachliche Kommunikation, Struktur und Eigenschaften von Sprache, Sprachproduktion, Sprachwahrnehmung.
2. Sprachverarbeitung im Überblick: Teilgebiete der Sprachverarbeitung, geschichtlicher Überblick, Sprachcodierung, Sprachsynthese, Spracherkennung, Sprecheridentifikation/-verifikation, semantische Analyse, Dialogmodellierung.
3. Sprachsignale: Darstellung und Eigenschaften, Kurzzeitanalyse, Kurzzeitspektrum, Periodogramm, Autokorrelation, lineare Prädiktion, homomorphe Analyse.
4. Wahrscheinlichkeitstheorie: Grundlagen, Hidden Markov Modelle (HMMs), zeitdiskreter Markov-Prozess, Entry- und Exit-Zustände, HMM-Parameter, HMM-Typen (links-rechts, diskret, kontinuierlich), Parameterschätzung, Dekodierung, Viterbi Algorithmus, Stärken und Schwächen von HMMs.
5. Sprachsynthese: Zusammenhang zwischen Lautsprache und Schrift, Teile der Sprachsynthese, Lautinventar, Verfahren der Sprachsignalproduktion, Sprachsynthese nach dem Verkettungssatz, Prosodiesteuerung.
6. Spracherkennung: Problem der Spracherkennung, Ebenen der natürlichen Sprache, Sprachmerkmale, Sprachmustervergleich.
7. Statistischer Ansatz in der Sprachverarbeitung: Datenaufnahmen, Datensegmentierung, Wahl der Grundelemente (kontextabhängige und -unabhängige Beobachtungen), Codebuchgenerierung, HMM-Training, Implementierungsprobleme: limitierte Trainingsdaten, Back-off Techniken, Wörter außerhalb des Vokabulars (OOVs).
8. Semantische Analyse: Theorie der formalen Sprachen, Chomsky-Hierarchie, Wortproblem, endliche Automaten, Parsing, syntaktische vs. semantische Grammatiken, regelbasierte vs. statistische Ansätze zur semantischen Analyse, Einführung in die Dialogmodellierung.
9. Anwendungen und Produkte: Evaluierung von Spracherkennungs- und Dialogsystemen, Spracherkennungs- und Dialogsysteme in der Forschung und im kommerziellen Einsatz.
10. Übungen: Praktische Entwicklung von Sprachdialogsystemen mit Schwerpunkt auf Spracherkennung und VXML-basiertem Dialogmanagement.

---

**Literatur**

- Folienkopien
- J. Allen: Natural Language Understanding , The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1988.
- B. Pfister, T. Kaufmann: Sprachverarbeitung - Grundlagen und Methoden der Sprachsynthese und Spracherkennung, Springer, 2008.
- L.R. Rabiner and B.H. Juang: An introduction to Hidden Markov Models , IEEE Transactions on Acoustics: Speech and Signal Processing , 3:1, pp. 4-16, 1986.

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Dialogue Systems", 2 SWS  
Labor "Dialogue Systems", 2 SWS

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 60 h  
Vor- und Nachbereitung: 120 h  
Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** keine Angaben

---

# Digital Communications

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872270

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer  
Dr. Werner Teich

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik MSc, Kernmodul  
Informationssystemtechnik MSc, Wahlpflichtmodul  
Communications Technology MSc, Pflichtmodul

---

**Vorkenntnisse** Empfohlene Vorkenntnisse  
- signals and systems (discrete and continuous-time signals and systems)  
- fundamentals of random variables and random processes  
- fundamentals of communications (analog and digital transmission)"  
(e.g., modul "Einfuehrung in die Nachrichtentechnik")

---

**Lernergebnisse** The students will be able to assess, compare, and design state-of-the-art digital communication schemes. They can operate with equivalent complex baseband signals and systems and appraise the action of systems on stochastic processes. Digital pulse amplitude modulation and its variants can be explained and devised. The representation of signals in a signal space can be formulated and applied for designing optimum receivers. coherent and non-coherent approaches can be discriminated. Digital modulation formats can be assessed in the power-bandwidth plane. The students will identify and characterize the action of distorting channels and are able to design and evaluate suitable equalizers. The concepts of single- and multi-carrier transmission can be explained, justified and synthesized for new applications.

---

**Inhalt** - Introduction  
- Equivalent complex baseband

---

- Fundamentals of digital communications / digital pulse amplitude modulation (PAM)
- Variants of PAM transmission (CAP, MSK, GMSK) / non-coherent transmission
- Signal space representation
- FSK, CPM
- Channel models and digital transmission over dispersive channels
- Orthogonal frequency-division multiplexing

**Literatur**

- S. Haykin. Communication Systems. John Wiley & Sons, Inc., New York, 3rd edition, 1994.
- J.P. Proakis, M. Salehi. Communication Systems Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle Rive, NJ, 2nd edition, 2002.
- J.B. Anderson, R. Johannesson. Understanding Information Transmission. Wiley-IEEE Press, Piscataway, NJ, 2005.
- K.D. Kammeyer. Nachrichtenübertragung. B.G. Teubner, Stuttgart, 4. Auflage, 2008.
- M. Bossert. Einführung in die Nachrichtentechnik. Oldenbourg, München, 2012.
- J. Lindner. Informationsübertragung. Springer, Berlin, 2005.
- J.G. Proakis. Digital Communications. McGraw-Hill, New York, 4th edition, 2000.
- J.B. Anderson. Digital Transmission Engineering. Wiley-IEEE Press, Piscataway, NJ, 2nd edition, 2005.
- R.E. Blahut. Digital Transmission of Information. Addison-Wesley, Reading, MA, 1990.
- J.R. Barry, E.A. Lee, D.G. Messerschmitt. Digital Communication. Kluwer Academic Publishers, Boston, 3rd edition, 2003.

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Digital Communications", 4 SWS  
 Exercise "Digital Communications", 2 SWS

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 80 h  
 Preparation and Evaluation: 70 h  
 Self-Study: 60 h  
 Sum: 210 h

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für**

Multuser Communications and MIMO Systems  
 Iterative Methods for Wireless Communications  
 Digital Communications Lab

# Digitale Regelungen

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870407

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Michael Buchholz

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Empfohlenes Wahlfach

---

**Vorkenntnisse**

- Integral- und Differentialrechnung
- Lineare Differentialgleichungen
- Grundlagen der Signale und Systeme
- Laplace-Transformation
- Vektor- und Matrizenrechnung
- Beschreibung und Regelung kontinuierlicher linearer Systeme im Frequenzbereich
- Beschreibung und Regelung kontinuierlicher linearer Systeme im Zeitbereich

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können die zur Abtastung eines linearen oder nichtlinearen zeitkontinuierlichen dynamischen Systems notwendigen Komponenten benennen und wiedergeben, welche Idealisierungen dabei angenommen werden. Darüber hinaus können sie einige Maßnahmen zur Berücksichtigung nicht-idealer Bedingungen bei der Abtastung beschreiben. Die Studierenden können zu gegebenen linearen zeitkontinuierlichen Systemen eine zeitdiskrete Repräsentation in Form eines Abtastsystems sowohl im Frequenz- als auch im Zeitbereich berechnen. Basierend darauf können Sie die Lösung eines linearen zeitdiskreten Abtastsystems bestimmen. Sie sind außerdem in der Lage, Kriterien für die Überprüfung systemtheoretischer Eigenschaften (BIBO-Stabilität, asymptotische Stabilität, Steuerbarkeit, Beobachtbarkeit) von Abtastsystemen anzugeben und diese auf gegebene Abtastsysteme anwenden. Die Studierenden können Kriterien zur Wahl der Abtastzeit wiedergeben und beurteilen, welchen Einfluss die Wahl der Abtastzeit auf die systemtheoretischen Eigenschaften des resultierenden Abtastsystems hat. Die Studierenden können für ein gegebenes

---

lineares dynamisches System und anhand gegebener Anforderungen an den geschlossenen Regelkreis einschätzen, welche Eigenschaften dieser Regler haben muss. Sie können einen geeigneten Abtastregler im Frequenzbereich oder im Zeitbereich unter expliziter Berücksichtigung des Abtastverhaltens entwerfen und den entworfenen Regler in Simulationen (in Matlab/Simulink) überprüfen. Im Frequenzbereich entworfene Regler können sie zudem als dynamisches Abtastsystem realisieren.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Beschreibung des idealen Abtastprozesses</li><li>- Abtastung linearer und nichtlinearer zeitkontinuierlicher Systeme</li><li>- Beschreibung des Lösungsverhaltens linearer Abtastsysteme</li><li>- Die z-Übertragungsfunktion</li><li>- Der diskrete Frequenzgang, Tustin-Transformation und Stabilitätskriterien</li><li>- Quasikontinuierlicher Reglerentwurf im Frequenzbereich</li><li>- Das Frequenzkennlinienverfahren</li><li>- Polvorgabe im Frequenzbereich</li><li>- Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit</li><li>- Zustandsreglerentwurf durch Eigenwertvorgabe</li><li>- Optimaler Zustandsregler</li><li>- Realisierung digitaler Regler, Berücksichtigung nicht-idealen Abtastverhaltens</li><li>- Anwendung der erlernten Reglerentwurfsverfahren in Matlab/Simulink</li></ul>
---------------	--

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ackermann, J.: Abtastregelung, 3. Aufl., Springer-Verlag, 1988</li><li>- Astrom, K., Wittenmark, B.: Computer Controlled Systems, Prentice/Hall, 1984</li><li>- Franklin, G., Powell, J., Workman, M.: Digital Control of Dynamic Systems, Addison-Wesley, 2. Ausg., 1990</li><li>- Gausch, R., Hofer, A., Schlacher, K.: Digitale Regelkreise, Odenbourg, 1991</li><li>- Geering, H. P.: Regelungstechnik: Mathematische Grundlagen, Entwurfsmethoden, Beispiele. 6. Aufl., Springer-Verlag, 2004</li><li>- Isermann, R.: Digitale Regelsysteme, Band 1. Springer-Verlag, 1987</li></ul>
------------------	---

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Digitale Regelungen", 2 SWS Übung "Digitale Regelungen", 1 SWS Tutorium "Digitale Regelungen", Tutorium unter Einbeziehung von Matlab", 1 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 60 h Vor- und Nachbereitung: 80 h Selbststudium: 40 h Summe: 180 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	-
----------------------	---

# Dünnschichttechnologie

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870453

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Ulrich Herr

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Ulrich Herr

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse** keine Angaben

---

**Lernergebnisse** Die Studenten können Grundlagen der Vakuumtechnik beschreiben und anwenden.  
Sie können Konzepte der Schichtherstellung darstellen sowie Struktur und Eigenschaften von Dünnschichten bestimmen. Sie können den Bezug zwischen Herstellungsverfahren, Mikrostruktur und Eigenschaften der Dünnschichten erklären  
und die Besonderheiten der mechanischen Eigenschaften von Dünnschichten einschätzen. Zudem können sie magnetische Eigenschaften von Dünnschichten modellieren und relevante Modellparameter bestimmen.

---

**Inhalt** Dünne Schichten sind ein zentrales Element in vielen modernen Bauteilen und Anwendungen der Elektro- und Informationstechnik. Die zunehmende Miniaturisierung, aber auch die Optimierung und Erzielung neuer Funktionalitäten erfordert dabei genaue Kenntnisse der Herstellung und Eigenschaften der Schichten. Die Vorlesung richtet sich an Studenten der Elektrotechnik im Hauptstudium. Es werden Grundkenntnisse zur Herstellung und Charakterisierung dünner Schichten für Anwendungen der Elektrotechnik/Informationstechnik vermittelt. Im begleitenden Praktikum werden diese Kenntnisse in eigenen Versuchen vertieft, welche in Kleingruppen durchgeführt werden.

---

1. Herstellung
    - Grundlagen der Vakuumtechnik
    - Elementare Wachstumsprozesse
    - PVD und CVD Techniken
  2. Charakterisierung
    - Beugungsverfahren (XRD, TEM)
    - Rasterelektronenmikroskopie (SEM, EDX)
    - Rastersondenmethoden (STM, AFM)
    - Spektroskopische Verfahren
    - Magnetische Eigenschaften (VSM, MOKE)
    - GMR Sensoren
  3. Eigenschaften von dünnen Schichten
    - Mechanische Eigenschaften
    - Festigkeit und Haftung
    - Spannungen und Spannungsrelaxation
  4. Elektrische und magnetische Eigenschaften
    - Elektrische Leitfähigkeit und Struktur
    - Grundlagen des Magnetismus
    - Magnetooptik
  5. Anwendungsbeispiele
    - Speicherschichten (magnetisch/magnetooptisch)
    - Magnetelektronik : GMR Sensoren, MRAM Vorlesungsbegleitendes
- Praktikum: vorgesehen sind 6 Termine zu den Themen
- Herstellung von Dünnschichten
  - Röntgenbeugung an Dünnschichten
  - Rasterelektronenmikroskopie- Rasterkraftmikroskop (AFM/MFM)
  - Magnetische Eigenschaften (VSM)

---

**Literatur**

- Nanoelectronics and Information Technology, R. Waser (ed.), Wiley VCH, Weinheim, 2003
- Materials Science of Thin Films, M. Ohring, Academic Press, 2002
- D.C. Jiles, Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman & Hall, London, 1995

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Dünnschichttechnologie", 2 SWS  
 Übung "Dünnschichttechnologie", 1 SWS  
 Labor "Dünnschichttechnologie", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 60 h  
 Vor- und Nachbereitung: 70 h  
 Selbststudium: 50 h  
 Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.



# Einführung in die Optoelektronik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870443

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Ferdinand Scholz

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Ferdinand Scholz  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Mähnß

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Allgemeine Elektrotechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik

---

**Vorkenntnisse** - Keine Voraussetzungen aus anderen Modulen erforderlich  
- Basiswissen über Halbleiterphysik und Halbleiterbauelemente erleichtert das Verständnis

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können die unterschiedlichen Ursachen der Dispersion in Wellenleitern und Glasfasern im Strahlenmodell und Wellenmodell vergleichend analysieren und aus den geometrischen Randbedingungen sowie den Materialeigenschaften herleiten. Daraus können sie die Beeinflussung der Datenimpulse durch Dispersion ableiten. Sie können den grundlegenden Aufbau von Leuchtdioden und Laserdioden darstellen und die Funktion der wesentlichen Struktur-Details erklären. Aus den Eigenschaften der optischen Übergänge können sie die Modulations-Frequenzgrenzen der Bauteile herleiten. Ebenso können sie die für eine empfindliche Datendetektion wesentlichen Eigenschaften einer Fotodiode darstellen und die sich ergebenden Zusammenhänge hinsichtlich der Modulationsbandbreite diskutieren. Schließlich können sie das Gesamtübertragungssystem aus den Einzelkomponenten sinnvoll zusammensetzen und die Limitierungen hinsichtlich Rauschen, Bitfehlerraten und Leistungsbudget darlegen.

---

**Inhalt** Die Vorlesung behandelt die Grundlagen der optischen Datenübertragung, wie

---

sie für das Verständnis von Glasfasernetzen und optischen Bussystemen benötigt werden.

Die einzelnen Themenschwerpunkte sind:

- Ausbreitung geführter optischer Wellen in Glasfasern
- Beeinflussung der Datenimpulse durch Dispersion
- Lichterzeugung in Leuchtdioden
- Funktionsweise von Laserdioden (Kantenemitter, DFB, VCSEL)
- Generation hochfrequenter Datenimpulsfolgen durch Laserdioden
- Detektion und optisch-elektrische Wandlung mit Photodioden
- Bitfehlerraten und Leistungs-Budget in Übertragungssystemen.

Das ausführliche Manuskript beschreibt den Inhalt der Vorlesung umfassend. In den Übungen werden für die Praxis wichtige Beispiele diskutiert und quantitativ durchgerechnet. Die Vorlesung ist Voraussetzung für das Praktikum.

---

<b>Literatur</b>	Ein Vorlesungsmanuskript steht zur Verfügung. <ul style="list-style-type: none"><li>- K.J. Ebeling, Integrierte Optoelektronik, 2. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 1992</li><li>- G. Grau und W. Freude, Optische Nachrichtentechnik. Thun: Verlag Harri Deutsch, 1994</li><li>- S.M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd edition. New York: JohnWiley&amp; Sons, 1981</li><li>- E.F. Schubert, Light-Emitting Diodes. Cambridge: Cambridge University Press, 2005</li><li>- W. Bludau, Halbleiter-Optoelektronik, München, Wien: Hanser 1995</li></ul>
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Einführung in die Optoelektronik", 3 SWS (V) Übung "Einführung in die Optoelektronik", 1 SWS (Ü)
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Vor- und Nachbereitung: 56 h Präsenzzeit: 49 h Selbststudium: 75 h Summe: 180 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	Bauelemente der Optoelektronik Advanced Optoelectronic Communication Systems Praktikum "Einführung in die Optoelektronik"
----------------------	---

# Electronic System Design using C and SystemC

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870436

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Dozent(en)** Dr. Endric Schubert

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Elective Module, (Ing)  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module,  
Embedded Systems, M.Sc., Application Subject, Mixed Signal Systems

---

**Vorkenntnisse** Bachelor

---

**Lernergebnisse** In today's world of short product cycles the design of electronic systems demands concurrent design of the hardware and software components. IEEE 1666 SystemC has evolved as the de-facto industry standard for modeling and validating hardware and software components of electronic systems. SystemC builds upon the powerful ANSI/ISO C++ computer software language and adds means for modeling concurrency (parallelism), communication mechanisms, reactivity for synchronizing concurrent processing, and a concept of time. Thus SystemC can be seen as a C++ class library plus an event-based simulation kernel. Students will learn the elements of the ANSI/ISO programming languages C and C++. Their knowledge and understanding of the syntax, semantics and programming principles is applied to practical programming examples. Students reproduce modern techniques of generic programming using C++ templates and C++ class inheritance. Students will analyze electronic system level designs based on the IEEE 1666 SystemC language and the corresponding methodologies. This includes the design and validation of electronic systems by modeling time, concurrency (parallelism), reactivity, and communication. They apply these

concepts by modifying and/or writing practical code examples. Students can identify state-of-the-art Models of Computation, and can distinguish between modeling concepts such as Untimed Functional Models (UFM), Timed Functional Models (TFM), Transaction-Level Modeling (TLM). Students will gain insight into the underlying event-driven OSCI simulation kernel and, thereby, can apply methodologies for trading-off between accuracy, programming effort and simulation speed.

---

**Inhalt**

In today's world of short product cycles the design of electronic systems demands concurrent design of the hardware and software components. Over a very short time period SystemC has evolved as the de-facto industry standard for modeling and validating hardware and software components of electronic systems. SystemC builds upon the powerful ANSI C++ computer software language and adds means for modeling concurrency (parallelism), communication mechanisms, reactivity for synchronizing concurrent processing, and a concept of time. Thus SystemC can be seen as a C++ class library plus an event-based simulation kernel. After a refresher of the syntax of ANSI C++ and principles of object-oriented programming, the syntax of SystemC is introduced. Models of Computation are presented that are commonly used to model at various levels of abstraction: Register-Transfer Level, Behavioral Level, Transaction Level, etc. SystemC models may differ in their accuracy in certain aspects: Pin-level accuracy, timing accuracy, structural accuracy, functional accuracy, communication accuracy. The student will learn methods for trading-off fast development of a SystemC model vs. accuracy and simulation speed. Methods for refining models to gain more accuracy in certain areas are shown, together with formal processes that have proven to be efficient. To complement the class many examples of SystemC code will be shown during the lectures. Hands-on exercises will take those examples to the next level of understanding and will enable the student to develop, compile and debug own SystemC models.

---

**Literatur**

- Ellis, Stroustrup, "The Annotated C++ Reference", Addison-Wesley
- The manual pages for GNU gcc, GNU make, GNU gdb at [www.gnu.org](http://www.gnu.org)
- Groetker et al., System Design with SystemC, Kluwer Academic Publishers, 200 - 2
- The SystemC Language Reference Manual (LRM) from the Open SystemC Initiative at [www.osci.org](http://www.osci.org)

---

**Lehr- und Lernformen**

Electronic System Design using C and SystemC (V), 2 SWS  
Electronic System Design using C and SystemC (Ü), 2 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Lecture: participation: 28 h, wrap-up: 40 h;  
Exercises: participation: 28 h; wrap-up: 40 h;  
Exam preparation: 44 h;  
Total: 180 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** keine Angaben

---

# Elektronische und optische Materialien

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872345

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Jun.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Strehle

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Peter Unger  
Prof. Carl E. Krill III, Ph.D.  
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Strehle

---

**Einordnung in die Studiengänge** Mastermodul des Bereichs Ing.Wiss.  
Kernmodul im Master Elektrotechnik

---

**Vorkenntnisse** Inhalte der Vorlesungen  
„Einführung in die Werkstoffe“ (BSc ET),  
„Grundlagen der Halbleiterbauelemente“ (BSc ET)

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können die quantenmechanischen Grundlagen der Festkörperphysik mit Modellen wie Materiewellenlänge, Schrödingergleichung, Fermi-Gas, 3D  $E(k)$ -Banddiagramme, Tunneleffekt, u.s.w. mathematisch beschreiben sowie ihre Bedeutung für die Materialeigenschaften erläutern. Auf diesen Kompetenzen aufbauend können die Studierenden das Phänomen der elektrischen Leitfähigkeit unterschiedlicher Materialsysteme in Abhängigkeit der Dimensionalität sowie bzgl. stationärem und dynamischem Verhalten erklären und mathematisch berechnen. Für die Werkstoffgruppe der Halbleiter kann das Konzept der effektiven Masse sowie die Rekombination und Generation von Ladungsträgern vertiefend beschrieben und auf bisher unbekannte Fragestellungen angewendet werden. Die Studierenden sind in der Lage, unter Berücksichtigung von Randbedingungen, Halbleiterübergänge zu kategorisieren sowie die Auswirkungen auf die zu erwartenden Materialeigenschaften mathematisch abzuleiten. Basierend auf diesen Kenntnissen können die Studierenden unter Anwendung der Quantenmechanik die Photonen-Materie-Wechselwirkung bzgl. Absorptions- und Emissionsverhaltens (z.B. Laserlicht, Fluoreszenz) mathematisch beschreiben und die optischen Eigenschaften berechnen. Ferner können die Studierenden das Funktionsprinzip einer Solarzelle basierend auf den Kenntnissen der Halbleitereigenschaften thermodynamisch beschreiben und Kenngrößen mathematisch ableiten.

---

**Inhalt**

Grundlagen der Festkörperphysik

- Schrödingergleichung
- Welle-Teilchen-Dualismus und Materiewellenlänge
- Fermi-Dirac-Statistik, Fermi-Gas, Zustandsdichten
- 3D Banddiagramme

Elektronische Halbleitereigenschaften

- Elektrische Leitfähigkeit
- Heterogene Halbleiterübergänge
- Kontinuitätsgleichung, effektive Masse, Exzitonen
- Realstruktureffekte

Optische Materialien

- Photonen-Materie-Wechselwirkung
- Grundlagen der Laserphysik
- Photonische Kristalle
- Solarzellen

---

**Literatur**

- N.M. Ashcroft & D.N. Mermin: Festkörperphysik, 4. Auf. Oldenbourg Verlag, 2013
- R.E. Hummel: Electronic Properties of Materials, 4th Ed., Springer, 2011
- M. Grundmann: The Physics of Semiconductors, 2nd Ed., Springer, 2010
- S.A. Maier, Plasmonics: Fundamentals and Applications, Springer, 2007
- M. Fox: Optical Properties of Solids, 2nd Ed., Oxford Univ Pr, 2010

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Elektronische und optische Materialien", 4 SWS  
Übung "Elektronische und optische Materialien", 1 SWS  
Seminar "Elektronische und optische Materialien", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 72 h  
Vor- und Nachbereitung: 48 h  
Selbststudium: 90 h  
Summe: 210 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# Elektrische Antriebe I

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870408

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Allgemeine Elektrotechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse**

- Integral- und Differentialrechnung; Lösung von Differentialgleichungen, komplexe Zahlen
- Allgemeine Bewegungsgleichungen
- Elektrische und Magnetische Felder, Maxwellsche Gleichungen;
- Berechnung von einfachen Magnetischen Kreisen
- Berechnung von Gleichstrom- und Wechselstromkreisen
- Darstellung und Berechnung von Wechselstromgrößen mit komplexen Zahlen und Zeigern
- Grundkenntnisse über Drehstromtechnik
- Grundkenntnisse über elektronische Bauelemente und Schaltungen

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können ein Antriebssystem mit Antriebsmotoren und Arbeitsmaschinen mit Bewegungsgleichungen berechnen und die Stabilität des Antriebssystems und der Arbeitspunkte beurteilen. Sie sind in der Lage, Antriebsmotoren und Arbeitsmaschinen zu klassifizieren und Einsatzgebiete verschiedener Elektromaschinen zu zeigen. Die Studierenden können die Entstehung des Drehfeldes mit Drehstromwicklungen mit Hilfe der Drehfeldtheorie beschreiben. Sie sind in der Lage, Prinzip, Aufbau und Schaltungen von Elektromaschinen (Gleichstrom-, Asynchron-, Synchron- und Kondensatormaschinen) zu erklären. Sie können Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien, Betriebszustände und Arbeitspunkte von Elektromaschinen mit Hilfe von Spannungsgleichungen, Ersatzschaltbildern und Zeigerdiagrammen berechnen. Die Studierenden sind in der Lage, Steuerverfahren und Schaltungen für Drehzahlsteuerung, Anfahren und Bremsen zu erklären und zu analysieren. Außerdem können sie Prinzip, Schaltungen, Steuerung und Regelung von

---

umrichter gespeisten Elektromaschinen beschreiben und berechnen. Sie sind in der Lage, einen Heylandkreis der Asynchronmaschinen zu zeichnen und auszuwerten.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- In dieser Vorlesung wird das stationäre Verhalten elektrischer Antriebssysteme behandelt.</li><li>- Am Anfang werden die Bewegungsgleichungen hergeleitet und die Stabilität der Antriebssysteme analysiert.</li><li>- Dann werden Spannungsgleichungen, Ersatzschaltbilder und Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien von Gleichstrommaschinen, Asynchronmaschinen und Synchronmaschinen hergeleitet.</li><li>- Ausgehend hiervon werden Betriebsverhalten, Verfahren zur Drehzahlsteuerung, Bremsung und zum Anfahren der Elektromaschinen behandelt</li><li>- Dabei werden auch Schaltungsarten und Möglichkeiten der Drehzahlsteuerung durch leistungselektronische Frequenzumrichter beschrieben.</li><li>- Das Zeichnen und Auswerten von Heylandkreisen wird vorgestellt.</li><li>- In der Vorlesung werden außerdem elektrische Kleinmaschinen wie Kondensatormaschinen besprochen.</li></ul>
---------------	---

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Skript zur Vorlesung "Elektrische Antriebstechnik I", Univ. Ulm</li><li>- Rolf Fischer: Elektrische Maschinen, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1989</li><li>- Erich-Herbert Lämmerhirt: Elektrische Maschinen und Antriebe, Carl Hanser Verlag München Wien, 1989</li><li>- G. Müller: Elektrische Maschinen, VDE-Verlag GmbH, Berlin u. Offenbach, 1985</li><li>- Schröder: Elektrische Antriebe 1, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg und New York 1994</li><li>- Hans Kleinrath: Grundlagen elektrischer Maschinen, Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden 1975</li><li>- Hans Kleinrath: Stromrichtergespeiste Drehfeldmaschinen, Springer-Verlag, Wien und New York, 1980</li><li>- Fritz Kümmel: Elektrische Antriebstechnik, Teil 1: Maschinen, VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach 1986</li></ul>
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Elektrische Antriebe I", 2 SWS (V) Übung "Elektrische Antriebe I", 2 SWS (Ü) Labor "Elektrische Antriebe I", 1 SWS (P)
-----------------------------	---

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 80 h Vor- und Nachbereitung: 80 h Selbststudium: 50 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	---

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	-
----------------------	---



# Elektrische Antriebe II

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870413

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3.5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse**

- Integral- und Differentialrechnung; Lösung von Differentialgleichungen; komplexe Zahlen; Matrizen und Vektoren
- Allgemeine Bewegungsgleichungen
- Elektrische und Magnetische Felder, Maxwellsche Gleichungen;
- Berechnung von einfachen Magnetischen Kreisen
- Berechnung von Gleichstrom- und Wechselstromkreisen
- Darstellung und Berechnung von Wechselstromgrößen mit komplexen Zahlen und Zeigern
- Grundkenntnisse über Drehstromtechnik
- Grundkenntnisse über elektronischen Bauelementen und Schaltungen
- Aufbau und Prinzip von Elektromaschinen (Gleichstrom-, Asynchron- und Synchronmaschinen)
- Spannungsgleichungen, Spannungszeigerdiagramme und Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien der Elektromaschinen
- Verfahren zur Drehzahlsteuerung der Elektromaschinen
- Prinzip und grundsätzliche Schaltungen von Frequenzumrichtern
- Grundsätzliche Steuer- und Regelungsverfahren für umrichter gespeiste Elektromaschinen

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können Synchronschenkelpolmaschinen mit Hilfe von Spannungsgleichungen, Ersatzschaltbildern und Zeigerdiagrammen berechnen und analysieren. Sie sind in der Lage, die dynamischen Vorgängen in Transformatoren zu berechnen. Sie können Zweiachsentheorie, komplexen Raumzeigerdarstellung, Koordinatensysteme und Koordinatentransformationen beschreiben und anwenden. Die Studierenden können Flussverkettungs- und Spannungsgleichungen sowie Leistungen und Drehmomenten

---

der Drehstrommaschinen in verschiedenen Koordinationssystemen darstellen und berechnen. Sie sind in der Lage, dynamische Vorgänge von Drehstrommaschinen zu analysieren und zu berechnen. Die Studierenden können Drehstrommaschinenmodelle mit eingprägten Ständerströmen und feldorientierten Koordinaten sowie das Prinzip der Feldorientierten Regelung beschreiben. Sie sind in der Lage, Prinzip und Aufbau einer permanenterregten Synchronmaschine zu beschreiben und einfache magnetische Kreise mit Permanentmagneten zu berechnen.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- In dieser Vorlesung wird das dynamische Verhalten elektrischer Antriebssysteme behandelt.</li><li>- Am Anfang wird das dynamische Verhalten von Gleichstrommaschinen und Transformatoren behandelt.</li><li>- Danach wird das stationäre Betriebsverhalten der Synchronschenkelpolmaschine besprochen und die Zweiachsen-Theorie eingeführt.</li><li>- Anschließend wird das allgemeine Maschinenmodell zur Behandlung von dynamischen Betriebsverhalten der Drehstrommaschinen hergeleitet.</li><li>- Mit Hilfe davon wird das dynamische Verhalten der Asynchron- und Synchronmaschine diskutiert.</li><li>- Ein Schwerpunkt der Vorlesung ist die Feldorientierte Regelung der umrichter gespeisten Drehstrommaschinen.</li><li>- Es wird die Berechnung eines einfachen, einen permanentmagnetischen Abschnitt enthaltenden Magnetkreises vorgestellt.</li><li>- Der Aufbau der permanenterregten Synchronmaschine wird behandelt.</li><li>- Außerdem wird auf den Umrichterbetrieb der Synchronmaschine eingegangen.</li></ul>
---------------	---

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Skript zur Vorlesung "Elektrische Antriebstechnik II", Univ. Ulm</li><li>- Otto Justus: Dynamisches Verhalten elektrischer Maschinen, Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1991</li><li>- Rolf Fischer: Elektrische Maschinen, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1989</li><li>- Erich-Herbert Lämmerhirt: Elektrische Maschinen und Antriebe, Carl Hanser Verlag München Wien, 1989</li><li>- G. Müller: Elektrische Maschinen, VDE-Verlag GmbH, Berlin u. Offenbach, 1985</li><li>- Schröder: Elektrische Antriebe, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg und New York 19945</li><li>- Fritz Kümmel: Elektrische Antriebstechnik, Teil 1: Maschinen, VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach 1986</li><li>- F. Taegen: Einführung in die Theorie der elektrischen Maschinen, Friedr. Vieweg+ Sohn, Braunschweig, 1971</li><li>- Werner Nürnberg: Die Asynchronmaschine, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 19761</li></ul>
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Elektrische Antriebe II", 2 SWS Übung "Elektrische Antriebe II", 1 SWS Labor "Elektrische Antriebe II", 0.5 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 56 h Vor- und Nachbereitung: 54 h Selbststudium: 40 h Summe: 150 h
-----------------------	--

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# Embedded Security - Informationssicherheit in eingebetteten Systemen

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

<b>Code</b>	8804871450
<b>ECTS-Punkte</b>	6
<b>Präsenzzeit</b>	4
<b>Unterrichtssprache</b>	Deutsch
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Turnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Modulkoordinator</b>	Dr. Dejan Lazich
<b>Dozent(en)</b>	Dr. Dejan Lazich
<b>Einordnung in die Studiengänge</b>	Elektrotechnik - Kommunikations- und Systemtechnik MSc, Studienbeginn WiSe, Wahlmodul Elektrotechnik - Kommunikations- und Systemtechnik MSc, Studienbeginn SoSe, Wahlmodul Informationssystemtechnik MSc, Studienbeginn WiSe, Wahlmodul Informationssystemtechnik MSc, Studienbeginn SoSe, Wahlmodul
<b>Vorkenntnisse</b>	Elektrotechnik/Informatik: Grundkenntnisse in Signalverarbeitung und Systemtheorie sowie in Schaltungs- und Prozesstechnik Mathematik: Grundkenntnisse in algebraischen Strukturen, Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik
<b>Lernergebnisse</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Grundkenntnisse über aktuell eingesetzte Kryptomethoden</li><li>• Implementierungsaspekte von sicherheitsrelevanten Funktionseinheiten in eingebetteten Systemen</li><li>• Systematische Betrachtung von Angriffsmethoden sowie entsprechenden Gegenmaßnahmen</li><li>• Sicherheitsüberprüfung und Zertifizierung von sicherheitskritischen Komponenten in eingebetteten Systemen</li></ul>
<b>Inhalt</b>	Eingebettete Systeme sind Systeme zur Informationsverarbeitung mit fester Funktionalität, die in ein größeres technisches System eingebunden sind, und verrichten - weitestgehend unsichtbar für den Benutzer - ihren Dienst in einer Vielzahl von Alltagsanwendungen. Embedded Security befasst sich mit der Informationssicherheit (IT-Sicherheit) der eingebetteten Systeme durch Anwendung von Maßnahmen gegen unbefugte Manipulationen bei der

Beschaffung, Übertragung, Bearbeitung und Speicherung von Informationen. Die Verwendung von kryptografischen Methoden ist eine Grundvoraussetzung für den Einsatz dieser Maßnahmen.

In der Vergangenheit war der zivile Einsatz von Kryptografie und IT-Sicherheit hauptsächlich auf das Bankwesen und die sichere Kommunikation zwischen Regierungsstellen beschränkt. Heutzutage ist IT-Sicherheit durch das Aufkommen von eingebetteten Systemen in einer weitaus größeren Zahl von Anwendungen notwendig. Durch die Vernetzung entstehen Mehrwertdienste und Wertschöpfungspotentiale - etwa in der Telekommunikation, Logistik, Fahrzeugtechnik, Bürotechnik, Unterhaltungselektronik, Energieversorgung, Medizintechnik, usw. Gleichzeitig ergeben sich aus dieser Vernetzung erhebliche Bedrohungen, welche die Ausfall- und Manipulationssicherheit gefährden und damit zu erheblichen Sicherheitsrisiken führen. Aufgrund der leichten Zugänglichkeit auf die in der Regel zeitkritischen Komponenten von eingebetteten Systemen mit ihren eingeschränkten Ressourcen ist die IT-Sicherheit in diesem Bereich stark verbesserungsbedürftig, so dass ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht.

Für die Implementierung kryptografischer Verfahren gibt es verschiedene technische Möglichkeiten. Gegenwärtig werden diese Verfahren in eingebetteten Systemen vorwiegend durch integrierten elektronischen Schaltungen (ICs) implementiert. Seit den 1990er Jahren ist jedoch bekannt, dass es bei solchen Implementierungen nicht ausreicht, wenn kryptografische Algorithmen lediglich mathematisch sicher sind. Beispielweise kann der Stromverbrauch eines Prozessors Hinweise über die verarbeiteten sicherheitskritischen Daten liefern. Dies ist nur ein eindrucksvolles Beispiel aus einer ganzen Reihe von neuen Angriffsmethoden, welche die physikalischen und technischen Eigenschaften der implementierten Kryptosysteme als Informationsquelle für unbefugte Manipulationen benutzen. Diese Implementierungsangriffe sind eine sehr umfangreiche Gruppe von Angriffen auf kryptografische Anwendungen, die statt der mathematischen Schwächen der kryptografischen Methoden oder das Fehlverhalten des Nutzers, die Schwachstellen der technischen Implementierung ausnutzen.

In der Vorlesung werden alle bekannten Implementierungsangriffe systematisch eingeordnet und erklärt. Für jeden solchen Angriff werden mögliche Gegenmaßnahmen erarbeitet, diskutiert und bewertet. Einige besonders erfolgreiche Implementierungsangriffe werden praktisch mit Hilfe von speziell aufgebauten Geräten demonstriert.

Die wichtigsten Themen der Vorlesung umfassen:

- Überblick über kryptografische Protokolle, Techniken und Algorithmen
- Implementierungsformen von kryptografischen Algorithmen
- Arten von Implementierungsangriffen und Gegenmaßnahmen
- Seitenkanalangriffe und Gegenmaßnahmen
- Sicherheitsarchitekturen von ICs
- Sicherheitsrelevante Module in ICs
- Zufallszahlengeneratoren und Zufallstests" in eingebetteten Systemen
- Arithmetische Module für kryptografische Anwendungen
- Modulare Arithmetik und Arithmetik der Elliptischen Kurven
- Montgomery-Arithmetik
- Speicherung von sicherheitskritischen Daten auf ICs
- Schutz vor unbefugten Manipulation von Firmware und Software in eingebetteten Systemen,
- Zertifizierung von eingebetteten kryptografischen Modulen
- Beispiele für sicherheitsrelevante Anwendungen: Chipkarten, RFID-Systeme, Zugangs- und Bezahlsysteme, Tachometer und Tachografen, Pay-TV-Geräte (Set-Top-Boxen)
- Biometrie und Embedded Security

**Literatur** Es existiert bis dato noch kein einführendes Lehrbuch oder Skript zum Thema Embedded Security. Daher werden ausgewählte Kapitel aus folgenden Büchern empfohlen:

- Lemke, Paar, Wolf (Editors): "Embedded Security in Cars", Springer 2006, Part 111.
- Cetin Kaya Koc (Editor): "Cryptographic Engineering", Springer 2009, Kapitel 1-6.

Als weiterführende Literatur werden die folgenden Bücher empfohlen:

- Mangard, Oswald, Pop: "Power Analysis Attacks", Springer 2007.
- Anderson: "Security Engineering", Willey, 2001, Kapitel 14 und 15.
- Schöning: "Kryptologie-Kompendium", für die Vorlesung Kryptologie, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik, Universität Ulm, Version 2010.
- Schneier: "Angewandte Kryptographie", Pearson Studium, 2006.
- Schmech: "Kryptographie", dpunkt.verlag, 2006.

---

**Lehr- und Lernformen** Embedded Security - Informationssicherheit in eingebetteten Systemen (V), 2 SWS, Wahl  
Embedded Security - Informationssicherheit in eingebetteten Systemen (Ü), 1 SWS, Wahl

---

**Arbeitsaufwand** Vorlesung: Teilnahme: 30 h, Nachbereitung, eigene Studien: 43 h,  
Übung: Teilnahme: 14 h, Vor- und Nachbereitung: 28 h,  
Prüfungsvorbereitung: 35 h  
Total: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens der mündlichen Modulprüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** Keine Angaben

---

# Energietechnik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870409

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Michael Danzer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Allgemeine Elektrotechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse**

- Mathematik I, II, III
- Physik I und II
- Grundlagen der Elektrotechnik I, II
- Einführung in die Energietechnik

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden sind fähig zur Anwendung von einfachen Verfahren der Kosten und Investitionsrechnung im Bereich der Energiewirtschaft.

Sie sind in der Lage, grundlegende Berechnungen zu Prozess- und Zustandsparametern im Bereich der Gas- und Dampfkraftwerksprozesse durchzuführen.

Sie können die wesentlichen Eigenschaften und Funktionen von unterschiedlichen Kernkraftwerks-Konzepten beschreiben und erklären.

Die Studierenden können Aufbau und Funktionsweise von Transformatoren unterschiedlicher Bauformen wiedergeben und Berechnungen zur Bestimmung von Transformatorparametern aus Messwerten im Kurschluss- und Leerlaufversuch durchführen.

Die Studierenden können Berechnungen im Bereich der Leistungs- Frequenz-Regelung hinsichtlich Leistungsdefiziten und Frequenzverläufen durchführen.

Sie sind in der Lage, das Verfahren der symmetrischen Komponenten zur Bestimmung des Verhaltens von Energieübertragungsnetzen bei unsymmetrischer Belastung in quantitativen Berechnungen anzuwenden.

Die Studierenden können das Verhalten von Drehstromübertragungsleitungen auf Basis der physikalischen Grundlagen erklärend beschreiben und Berechnungen hierzu durchführen.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grundlagen und einfache Verfahren der Investitions- und Kostenrechnung</li> <li>- Detaillierte Darstellung von Energieverbrauch, Energieressourcen, Entwicklung des Verbrauchs</li> <li>- Einführung in die technische Thermodynamik: Struktur und Funktionsweise der Wärmekraftprozesse, Jouleprozess, Clausius-Rankine - Prozess; Aufbau und Funktion der darauf basierenden Kraftwerke</li> <li>- Struktur und Funktionsweise der Kernenergietechnik und -nutzung: Leichtwasser-, Druckwasser-, Schwerwasserreaktor, Schneller Brüter, Hochtemperaturreaktor, Kernfusion</li> <li>- Struktur und Funktionsweise der Verbundnetze, Leistungs- und Frequenzregelung, elektrische Energieverteilung</li> <li>- Einführung in die Systemanalyse, Symmetrische Komponenten, Transformatoren, Leistungstheorie</li> </ul>
---------------	---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- H. Kabza, J. Xie : Vorlesungsskript: "Energietechnik I", Univ. Ulm</li> <li>- D. Peier: Einführung in die elektrische Energietechnik , Teubner Heidelberg 1987 (vergriffen)</li> <li>- K. Kugeler, P.-W. Phlippen: Energietechnik 3. Aufl. Springer 2012 (2. Aufl. 1993)</li> <li>- G. Hosemann, W. Boeck: Grundlagen der elektrischen Energietechnik , Springer 1983</li> <li>- H.-J. Haubrich: Elektrische Energieversorgungssysteme , Verlag Mainz 1996</li> <li>- K. Heuck, K.D. Dettmann: Elektrische Energieversorgung , 8. Auflage Vieweg + Teubner, Wiesbaden; 2010</li> <li>- R. Flosdorff, G. Hilgarth: Elektrische Energieverteilung , 9. Auflage Vieweg + Teubner, Wiesbaden; 2005</li> <li>- G. Herold: Grundlagen der elektrischen Energieversorgung , Teubner 1997</li> </ul>
------------------	---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	<p>Vorlesung "Energietechnik", 3 SWS (V)          Übung "Energietechnik", 1 SWS (Ü)          Labor "Energietechnik", 1 SWS (P)</p>
-----------------------------	--

<b>Arbeitsaufwand</b>	<p>Präsenzzeit: 74 h          Vor- und Nachbereitung: 86 h          Selbststudium: 50 h          Summe: 210 h</p>
-----------------------	---

<b>Bewertungsmethode</b>	In der Regel schriftliche Prüfung von 120 Minuten Dauer, ansonsten mündliche Prüfung. Erfolgreiche Teilnahme an den Praktikumsteilen ist Voraussetzung zur Zulassung zur Prüfung
--------------------------	--

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

<b>Grundlage für</b>	-
----------------------	---

# Entwurf integrierter Systeme

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870424

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Albrecht Rothermel

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Albrecht Rothermel

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul (ING)

---

**Vorkenntnisse** Digitale Schaltungen. Signalverarbeitung vorteilhaft

---

**Lernergebnisse** Die Studenten können die Unterschiede der verschiedenen Zahlendarstellungen bewerten, und spezifische Anwendungs-Beispiele angeben. Sie können zwischen den Zahlendarstellungen umrechnen und identifizieren die Darstellungen, mit denen eine Umrechnung nicht möglich ist. Sie erweitern die Komplement-Darstellung auf beliebige Basissysteme. Sie listen die wesentlichen Charakteristika der CMOS-Schaltungstechnik auf, konstruieren statisch stromlose Grund- und Komplexgatter. Sie benennen Vor- und Nachteile dynamischer CMOS-Logik, von NORA-Logik, Transmission-Gate Logik und Double-Pass-Transistor Logik. Sie klassifizieren die Logik-Stile am Beispiel des EXOR-Gatters. Am Beispiel des Komparators zeigen Sie die Vor- und Nachteile der Baumstrukturen im Vergleich mit den linearen Strukturen auf. Sie zeigen die Varianten der CMOS-Lösungen für Addiererstrukturen im Vergleich zur Gatterlösung. Sie ordnen die Möglichkeiten der effizienten Übertragsberechnung ein wie "fast carry chain", "carry look ahead", "carry skip", "carry select", "Kogge-Stone", "Brent-Kung", "conditional sum", und können die theoretische Grenze der Addierer-Gatterlaufzeit angeben. Sie arbeiten mit dem Konzept der "carry-save" Arithmetik, und ordnen diese in die redundanten Zahlensysteme ein. Sie arrangieren einen "carrysave" Wallace-Baum. Sie zeichnen effiziente "floor-plans" für Skalierer, und optimieren die Multiplizierer (mit und ohne Vorzeichen) nach dem "radix-2" und

"radix-4" Booth-Verfahren. Sie vergleichen die Lösungen nach dem "divide and conquer" Verfahren und dem Tabellenverfahren. Für die Aufgabe der Division zeichnen sie schnelle Array-Schaltungen, die die Division in einem Takt ausführen können. Sie können das CORDIC-Verfahren erläutern, und die Algorithmen in allen 6 Varianten angeben. Sie verfügen über eine effiziente Hardware-Schaltung, und verwenden Sie zur Berechnung trigonometrischer Operationen, aber auch für Multiplikation und Division, und zeigen die Verwandtschaft mit dem Array-Dividierer. Sie wählen die CMOS-optimierten Registerschaltungen aus und verwenden 1-4 phasige Taktsysteme. Sie zeichnen die wesentlichen Register auf Transistorebene. Sie können abstrakt die Effizienz verschiedener CMOS-Architekturen vergleichen und beweisen, dass das Konzept des "pipelining" die Effizienz erhöht. Sie wenden "pipelining" auf beliebige Netzwerke mittels der "cut set-" Technik an. Sie optimieren die Logiknetze durch das "Single phase separated latch" Taktsystem. Sie kennen die grundlegenden Filterstrukturen und analysieren diese mit Hilfe der z-Transformation. Sie können die unterschiedliche Empfindlichkeit der verschiedenen Strukturen bzgl. Rundungsfehlern quantitativ einordnen. Sie optimieren Transversalfilter durch Pipelining, nähern rekursive Filter durch Transversalfilter an, und organisieren komplexe Datenpfade in "bit-slice" Anordnung. Sie benennen die Auswirkungen von Rundungsfehlern und Überlauf an Beispielen für verschiedene Arithmetiken, und vermeiden Überlaufschwingungen und "limit cyle" Schwingungen. Sie verringern die Leistungsaufnahme der Schaltungen durch Parallelisierung und "pipelining", "loop unrolling" und adiabatische Logik.

---

## Inhalt

- komplexe Komponenten der digitalen Signalverarbeitung: Schelle Addierer, schnelle Multiplizierer, Dividierer, CORDIC
- Lineare Gleichstromschaltungen
- algorithmische Verfahren: Baumstrukturen, "Shift and Add", Redundante Zahlendarstellung, "Carry-Save", "Wallace Tree", "Booth-" Verfahren
- effiziente Taktungs-Verfahren, "Pipelining" und "Cut-Set-" Technik
- effiziente Strukturen für digitale Filter

---

## Literatur

- Digital Design: Principles and Practices, John F. Wakerly, Prentice Hall
- Computer Arithmetic, K. Hwang, John Wiley & Sons, New York 1979
- High speed CMOS design styles, K. Bernstein, Boston, Kluwer Academic 1998
- CMOS data converters for communications, M. Gustavsson, J. J. Wikner, N.N. Nick, Boston Kluwer, 2000
- Introduction to VLSI Systems, C. Mead, L. Conway, Addison Wesley Publishing Company, 1980
- Principles of CMOS VLSI Design, N. Weste, K. Eshraghian, Addison Wesley Publishing Company, 1985
- Integrierte Digitale Schaltungen MOS/BICMOS, H. Klar, Springer Lehrbuch, Berlin 1993
- Analog Interfaces for Digital Signal Processing Systems, F. Op't Eynde, Willy Sansen, Kluwer Academic 1993
- Principles of Data Conversion System Design, B. Razavi, IEEE Press 1995

---

## Lehr- und Lernformen

Entwurf integrierter Systeme (V), 3 SWS  
 Entwurf integrierter Systeme (Ü), 1 SWS

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 48 h  
Vor- und Nachbereitung: 76 h  
Selbststudium: 56 h  
Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode** Teilnahme an Vorlesungen und Übungen, I.d.R. schriftliche Prüfung von 120  
minütiger Dauer, ansonsten mündliche Prüfung.

---

**Notenbildung** Anhand des Klausurergebnisses bzw. der mündlichen Prüfung

---

**Grundlage für** Masterarbeit

---

# Entwurf und Synthese von Digitalfiltern

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871143

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Priv.-Doz. Dr. Dietrich Fränken

---

**Dozent(en)** Priv.-Doz. Dr. Dietrich Fränken

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Allgemeine Elektrotechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul (Ing)

---

**Vorkenntnisse** Diese Veranstaltung greift auf verschiedene mathematische Methoden zurück, ein solider Umgang mit komplexer Rechnung, Matrizen und Vektoren sowie mit rationalen Funktionen wird vorausgesetzt. Eine Kenntnis der Inhalte der Vorlesung Signalverarbeitung ist von Vorteil, aber nicht zwingend erforderlich. Die Vorlesung Digitale Schaltungen erläutert die technischen Grundlagen zur Umsetzung der in dieser Veranstaltung diskutierten Strukturen.

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können anhand von Signalflussgraphen verschiedene Filterstrukturen für die digitale Signalverarbeitung angeben und ihre grundlegenden Systemeigenschaften diskutieren. Sie sind in der Lage, die Strukturen nach unterschiedlichen Gesichtspunkten zu klassifizieren und anhand dieser Klassifizierung unter den Strukturen die für ihre Anwendungen geeigneten begründet auszuwählen. Sie können das Stabilitäts- und Übertragungsverhalten der gewählten Strukturen vorhersagen und berechnen. Anhand von Referenznetzwerken synthetisieren sie Filterstrukturen. Die Studierenden können unterschiedliche Entwurfskriterien für Digitalfilter unterscheiden. Sie sind in der Lage, basierend auf den verschiedenen Kriterien sowohl analytische als auch numerisch-iterative Entwurfsverfahren auszuwählen. Analytische Verfahren können sie durchrechnen, numerisch-iterative Verfahren anhand der zugrunde liegenden Ideen motivieren und den Verfahrensablauf erläutern.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zielsetzung:</li> <li>- Anforderungen (Dämpfungsverlauf, Phasenverlauf, Toleranzschema, Stabilität, Aufwand)</li> <li>- Entwurf und Synthese als Aufgabenstellung</li> <li>- Berücksichtigung von Wortlängeneffekten (Empfindlichkeit, Stabilität)</li> <li>- Synthese:</li> <li>- Signalflussgraphen</li> <li>- Synthese rekursiver Filter: Direktstrukturen, Kaskaden- und Parallelstrukturen, Struktur nach Gray und Markel</li> <li>- Wellendigitalfilter, Bedeutung der Passivität, symmetrische verlustfreie Zweitore</li> <li>- Entwurf:</li> <li>- Charakteristische Funktion</li> <li>- Butterworth-Entwurf, Tschebyscheff-Entwurf, Cauer-Entwurf (elliptische Funktionen, Landen-Transformation, Darlington-Algorithmus)</li> <li>- Entwurf von Hoch- und Bandpässen sowie Bandsperrern mit Hilfe von Frequenztransformationen</li> <li>- Entwurf exakt linearphasiger Filter (Dolph-Tschebyscheff-Tiefpass, Remez-Algorithmus, Notch-Filter)</li> <li>- Synthese und Entwurf von Filtern mit näherungsweise linearer Phase</li> <li>- Ausgewählte Filter für Spezialanwendungen</li> </ul>
---------------	--

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A. Antoniou: Digital Filters. McGraw-Hill, New York.</li> <li>- A. Fettweis: Wave Digital Filters: Theory and Practice. Proceedings of the IEEE Bd. 74, 1986, pp. 270-327.</li> <li>- H.W. Schüßler: Digitale Signalverarbeitung 1. Springer-Verlag, Berlin 1994.</li> <li>- R. Unbehauen: Netzwerk- und Filtersynthese. Oldenbourg-Verlag, München, 1993.</li> </ul>
------------------	--

<b>Lehr- und Lernformen</b>	<p>Vorlesung "Entwurf und Synthese von Digitalfiltern", 2 SWS          Übung "Entwurf und Synthese von Digitalfiltern", praktische Übungen unter Nutzung von Matlab, 1 SWS</p>
-----------------------------	--

<b>Arbeitsaufwand</b>	<p>Präsenzzeit: 42 h          Vor- und Nachbereitung: 48 h          Selbststudium: 30 h          Summe: 120 h</p>
-----------------------	---

<b>Bewertungsmethode</b>	<p>Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.</p>
--------------------------	---

<b>Notenbildung</b>	<p>Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.</p>
---------------------	--

<b>Grundlage für</b>	<p>-</p>
----------------------	----------

# Fahrerassistenzsysteme

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872067

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Ingenieurwissenschaften  
Informatik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Informatik, M.Sc., Vertiefungsfach Eingebettete Systeme  
Medieninformatik, M.Sc., Vertiefungsfach Eingebettete Systeme

---

**Vorkenntnisse** keine

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können erläutern, was die Aufgabe von Fahrerassistenzsystemen ist, welche Ausprägungen existieren und aktuelle Grenzen der Machbarkeit aufzeigen. Sie kennen verwendete Sensorprinzipien wie Video, Radar und Lidar, und können diese Prinzipien funktional und konstruktiv detailliert erläutern sowie hinsichtlich der Anwendung für Fahrerassistenzsysteme bewerten. Die Studierenden sind ferner in der Lage, grundlegende Signalverarbeitungsverfahren zur Objektdetektion, Objektklassifikation und zum Objekttracking unter Nutzung der verschiedenen Sensorprinzipien zu erläutern und hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zu bewerten. Sie sind ferner in der Lage, objektbasierte Umgebungsmodelle und Grid-basierte Verfahren zur Umgebungserkennung vergleichend darzustellen und einfache Regelungsansätze zur Längs- und Querdynamik von Fahrzeugen zu erläutern und derartige Regler auszulegen.

---

**Inhalt** Die Vorlesung vermittelt einen Gesamtüberblick über aktuelle Fahrerassistenzsysteme und dafür notwendige Komponenten, Technologien und

---

Algorithmen. Ferner wird ein Ausblick auf hoch- und vollautomatisierte Fahrzeuge gegeben.

Im Detail werden behandelt:

- Übersicht über heute verfügbare Assistenzfunktionen
- Aufbau und Funktion von Radar-, Lidar- und Videosensorik
- Methoden zur Fahrzeugumfeldwahrnehmung einschließlich Objekttracking
- Methoden zur Situationsbewertung
- Klassifikation von Verkehrsteilnehmern
- Lokalisierung und hoch genaue digitale Karten
- Handlungsplanung und Fahrzeugregelung
- Funktionsauslegung und Absicherung
- Herausforderungen für hochautomatisierte Fahrzeuge

---

**Literatur**                    • H. Winner, S. Hakuli, G. Wolf (Hrsg.): Fahrerassistenzsysteme, Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. Vieweg + Teubner Verlag, 2. Auflage 2011.

---

**Lehr- und Lernformen**            Vorlesung Fahrerassistenzsysteme, 3 SWS  
Übungen Fahrerassistenzsysteme, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**                Präsenzzeit: 60 h  
Vor- und Nachbereitung: 120 h  
Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                    Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                    Masterarbeiten

---

# Filter- und Trackingverfahren

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870414

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul

---

**Vorkenntnisse**

- Lineare Algebra
- Grundlagen der Stochastik
- Behandlung linearer Systeme im Zustandsraum (Vorlesung Systemtheorie)

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden sind in der Lage verschiedene Konzepte und Methoden zur Parameterschätzung und dynamischen Zustandsschätzung aus fehlerbehafteten Messungen zu erläutern. Diese Methoden können relativ zur grundlegenden Theorie, der Rekursiven Bayes-Schätzung eingeordnet und hinsichtlich zu erwartender Performance bewertet werden. Für die Verfahren können quantitative und qualitative Bewertungsmethoden hinsichtlich Genauigkeit, Güte und Performance der Verfahren im Detail erläutert und auf konkrete Fragestellungen angewendet werden. Die Studierenden sind damit in der Lage sowohl für lineare als auch für nichtlineare Systeme entsprechende Filterverfahren auszuwählen, zu implementieren, auszulegen und die Ergebnisse fundiert zu beurteilen. Multi-Modellfilter als Sonderlösungen können zudem konzeptionell erläutert und mit Single-Modellansätzen bewertend verglichen werden. Die Herausforderungen bei der Verfolgung mehrerer Objekte und die daraus resultierende Notwendigkeit einer Datenassoziation können erläutert und Lösungsverfahren für die Datenassoziation aufgezeigt werden.

---

**Inhalt**

- Grundlagen der Schätztheorie (Fisher-Ansatz, Bayes-Ansatz)
- Verfahren zur statischen Parameterschätzung (MAP, ML, LS und MMSE)
- Erwartungstreue und Konsistenz von Schätzverfahren

---

- Rekursiver Bayes-Schätzer
- Kalman-Filter
- Numerische Probleme der Filterimplementation
- Bewertung der Konsistenz und Güte dynamischer Zustandsschätzer
- Alpha-Beta-Gamma Tracker
- Extended Kalman Filter
- Uncented Kalmanfilter
- Particle-Filter
- Multiple-Model Filter
- Datenassoziation

**Literatur**

- Yaakov Bar-Shalom, Xiao-Rong Li: Estimation with Applications to Tracking and Navigation . Jon Wiley & Son 2001
- Samuel Blackman, Robert Popoli: Modern Tracking Systems . Artech House, Boston London 1999
- Louis Scharf: Statistical Signal Processing. Detection, Estimation and Time Series Analysis . Addison-Wesley, 1991

**Lehr- und Lernformen** Filter- und Trackingverfahren (V), 2 SWS,  
Filter- und Trackingverfahren (Ü), 2 SWS, Praktische Übung unter Nutzung von Matlab

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 66 h  
Vor- und Nachbereitung: 79 h  
Selbststudium: 35 h  
**Gesamt: 180 h**

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für** Projekt - Hochautomatisiertes Fahren

# Grundlagen und Anwendungen optischer Displays

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870454

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Peter Unger

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Peter Unger

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Mikroelektronik

---

**Vorkenntnisse** - Bachelor  
- Keine Voraussetzungen aus anderen Modulen erforderlich

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden verstehen den Aufbau des Auges und die daraus resultierenden Konsequenzen für die technische Erzeugung von Farben. Sie beherrschen die Umrechnung zwischen photometrischen und radiometrischen Größen und sind mit praktischen lichttechnischen Berechnungen vertraut. Die Studierenden können den Aufbau und die physikalische Wirkungsweise von Kathodenstrahlröhren, Flüssigkristallanzeigen, Mikrospiegel-Displays sowie Plasma-Bildschirmen erklären und die entsprechenden Ansteuerschaltungen insbesondere für den Matrixbetrieb skizzieren. Die Studierenden können die verschiedenen Projektionsverfahren vergleichend beschreiben und können die Vor- und Nachteile verschiedener Methoden der Farberzeugung beurteilen. Sie können verschiedene stereoskopische Darstellungsverfahren benennen und ihr jeweiliges Anwendungspotenzial einschätzen.

---

**Inhalt**

- Visuelle Wahrnehmung
- Kathodenstrahlröhren (CRTs)
- Flüssigkristallanzeigen (LCDs)
- Digital Micromirror Devices (DMDs)
- Feldemissions-Displays
- Plasma-Displays
- Liquid Crystal on Silicon (LCoS) Projektoren
- Displays aus Organischen Leuchtdioden (OLEDs)

---

- Video-Projektion
- Stereoskopische Darstellung

---

**Literatur** Begleitmaterial zur Vorlesung findet sich auf einer speziellen Internetseite zum herunterladen.  
<http://www.uni-ulm.de/in/opto/lehre/wintersemester/grundlagen-und-anwendungenoptischer-displays.html>  
- Gerhard Mahler, Die Grundlagen der Fernsehtechnik – Systemtheorie und Technik der Bildübertragung, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2005  
- Ernst Lüder, Liquid Crystal Displays: Addressing Schemes and Electro-optical Effects, Somerset, New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons Inc 2010

---

**Lehr- und Lernformen** Vorlesung “Grundlagen und Anwendungen optischer Displays”, 2 SWS  
Übung “Grundlagen und Anwendungen optischer Displays”, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Vor- und Nachbereitung: 45 h  
Präsenzzeit: 75 h  
Summe: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** keine Angaben

---

# Heterogeneous and Parallel Computing Infrastructures

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872323

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Stefan Wesner

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Stefan Wesner  
Lutz Schubert

---

**Einordnung in die Studiengänge**

- Mastermodul des Bereichs Ingenieurwissenschaften
- Informatik, M.Sc., Kernfach Technische und Systemnahe Informatik
- Medieninformatik, M.Sc., Kernfach Technische und Systemnahe Informatik
- Medieninformatik, M.Sc., Vertiefungsfach Verteilte Systeme
- Informatik, M.Sc., Vertiefungsfach Verteilte Systeme

---

**Vorkenntnisse** Basic knowledge of distributed systems and/or communication networks, as well as computer architecture is desirable. Some programming knowledge in structured or object oriented programming languages is required for performing the exercises. Participation in the lectures Computer Networks and/or Cross-organizational distributed systems and Clouds or the Lab on Information Technology is desirable but no formal pre-condition.

---

**Lernergebnisse** After this course students will have an in-depth understanding of processor architectures and their differences in modern heterogeneous computing platforms. They will understand the impact of processor and system architecture on application performance and will know how this affects programming of such systems. They will be able to explain the benefits and drawbacks of specialisation, parallelisation and data locality, and can give examples of how and when to exploit these factors. They will understand the limitations of scalability based on communication costs and lack of parallelism/ amount of serial code and can interpret and explain scalability and speed-up diagrams for parallel applications. Participants will be able to argue where processor and system development is heading to, why and which problems will arise from this.

---

## Inhalt

The course will start from an overview over current processor systems and development trends in computer hardware towards increased heterogeneity and specialisation, driven by the need for more computer performance and increased energy efficiency. The first section of the course will provide a base knowledge of processor architecture from a performance perspective.

In a second section, the principles of parallelisation will be elaborated on all levels, from large scale computing systems, such as high performance computing and clouds, down to multi- and many-core processors. This covers the principles of parallel programming and programming models, such as OpenMP, MPI and Partitioned Global Address Space (PGAS). This will also cover their limitations, such as Amdahl's law and the impact of data locality.

The third section will address specialisation of systems, ranging from embedded devices and multi-core systems to specialised co-processors, such as GPUs. The impact of specialisation on performance and energy efficiency, but also on programmability and portability will be elaborated. The future trends towards completely heterogeneous setups on all levels will be examined and assessed.

The lecture will conclude with an outlook on how processors will likely develop in the future and what this means for the programmability and portability of software.

---

## Literatur

- D.Patterson, J.L.Hennessy. Computer Organization and Design, 5th ed. Morgan Kaufmann, 2014.
- M. Dubois, M. Annavaram, P. Stenström, Parallel Computer Organization and Design, 1<sup>st</sup> edition, Cambridge University Press, 2012
- G. Hager, G. Wellein, Introduction to High Performance Computing for Scientists and Engineers, Chapman & Hall/CRC Computational Science

---

## Lehr- und Lernformen

Vorlesung Heterogeneous and Parallel computing Infrastructures, 2 SWS (Prof. Dr. Stefan Wesner/Lutz Schubert)  
Seminar Heterogeneous and Parallel computing Infrastructures, 1 SWS (Lutz Schubert)  
Übung Heterogeneous and Parallel computing Infrastructures, 1 SWS (Lutz Schubert)

---

## Arbeitsaufwand

Präsenzzeit: 60 h  
Vor- und Nachbereitung: 120 h  
Summe: 180 h

---

## Bewertungsmethode

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens der mündlichen Modulprüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

## Notenbildung

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

## Grundlage für

-

# HF-Komponenten und Systemdesign

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872212

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Mikroelektronik

---

**Vorkenntnisse** Einführung in die Hochfrequenztechnik

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden sind nach erfolgreichem Abschluss des Moduls in der Lage, geführte und ungeführte elektromagnetische Wellen mathematisch zu beschreiben. Sie können diese Beschreibung auf Wellenleiter (Rechteck- und Rundhohlleiter, Koaxialleitung u. ä.) und daraus gebildete Bauelemente wie Resonatoren und nichtreziproke Bauelemente anwenden. Sie können grundlegende Eigenschaften von Mischern und Oszillatoren auch unter Berücksichtigung der dort wichtigen nichtlinearen Eigenschaften und des Rauschens und Phasenrauschens der Bauelemente beurteilen. Sie beherrschen die grundlegende Wirkungsweise skalarer und vektorieller Netzwerke und Spektrumanalysatoren und können die Geräte in der Messtechnik anwenden.

Die Studierenden sind nach erfolgreichem Abschluss des Moduls in der Lage, Prinzipien der Hochfrequenztechnik zum Entwurf und zur messtechnischen Überprüfung von Systemen aus Kommunikationstechnik und Sensorik anzuwenden. Sie sind fähig, die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Sende-Empfangs-Systeme und deren Subsysteme einzuschätzen. Sie können das Link-Budget und Rausch-Budget für Sende-Empfangs-Systeme berechnen und damit eigene Systemauslegungen durchführen.

---

**Inhalt** Die Vorlesung und Übungen haben im einzelnen die folgenden Kapitel zum Inhalt:

---

- Wellenleitertypen,
- Passive verteilte Bauelemente,
- Oszillatoren, PLL,
- Frequenzumsetzung, Mischer,
- Mischerrauschen, Phasenrauschen,
- Leistungsverstärkung (Klein- und Großsignalverhalten),
- Grundlagen der Hochfrequenzkommunikation mit Empfänger- und Signalerzeugungsarchitekturen,
- Sender-/Empfänger-Systeme, Transponder,
- Auslegung von HF-Systemen, Link-Budget,
- HF-Messtechnik.

---

**Literatur**                    - Vorlesungsskript  
                                      - Lehrbücher siehe Vorlesungsskript

---

**Lehr- und Lernformen**            Vorlesung HF-Komponenten und -Systemdesign. 3 SWS  
     Übung HF-Komponenten und -Systemdesign, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**            Präsenzzeit: 60 h  
     Vor- und Nachbereitung: 60 h  
     Selbststudium: 60 h  
     Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                Dieses Modul ist Grundlage für einen Teil der im Institut für Mikrowellentechnik durchgeführten Masterarbeiten.

---

# HF-Systemdesign bei industriellen Forschungsarbeiten

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872105

---

**ECTS-Punkte** 3

---

**Präsenzzeit** 2

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Jürgen Hasch, Robert Bosch GmbH, Corporate Research  
Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften

---

**Vorkenntnisse** keine

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden sind nach erfolgreichem Abschluss des Moduls in der Lage, Problemstellungen des HF-Systemdesign systematisch zu strukturieren. Sie können grundlegende Methoden zur Analyse und zum Entwurf von HF-Systemen anwenden. Sie können grundlegende technische Lösungen und Konzepte des HF-Systemdesign auf die Aufgabenstellungen anwenden und diese selbstständig lösen. Sie können neue Lösungswege für unbekannte Probleme der Hochfrequenztechnik formulieren. Sie sind in der Lage, Themen des HF-Systemdesign sich selbstständig zu erarbeiten und anderen zu präsentieren.

---

**Inhalt** Aktuelle Themen der industriellen Forschung werden zusammen mit dem Dozenten erarbeitet, von den Studenten im Seminar vorgestellt und diskutiert. Inhaltlich können die Themen aus folgenden Bereichen ausgewählt werden:

- Systemkonzepte von Single-Chip-Radaren
- Radare für Fahrerassistenzsysteme
- Materialcharakterisierung mittels HF-Technik
- Antennensystemtechnik, integrierte Antennenkonzepte

- Winkelschätzverfahren
- Aufbau- und Verbindungstechnik im Millimeterwellenbereich

---

**Literatur** Für das Modul werden entsprechende wissenschaftliche Veröffentlichungen ausgegeben.  
Diese sind die Basis für die Aufbereitung der einzelnen Themen. Die unten genannte Literatur bildet die Grundlagen ab.

---

**Lehr- und Lernformen** Seminar "HF-Systemdesign", 2 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 30 h  
Vor- und Nachbereitung: 45 h  
Selbststudium: 15 h  
Summe: 90 h

---

**Bewertungsmethode** Teilnahme an den Seminarterminen ist Pflicht. Jeder Student muss ein Thema basierend auf den Unterlagen des Dozenten aufbereiten und präsentieren.

---

**Notenbildung** Note für den Vortrag und die Diskussionsbeiträge.

---

**Grundlage für** -

---

# Identifikation dynamischer Systeme

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8834871405

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Michael Buchholz

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul (Ing)

---

**Vorkenntnisse**

- Lineare Algebra
- Differenzial- und Integralrechnung
- Grundlagen Stochastik
- Laplace- und z-Transformation
- Beschreibung dynamischer Systeme im Zeit- und Frequenzbereich (zeitkontinuierlich und zeitdiskret)

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden können die Systemidentifikation von weiteren Arten der Modellbildung abgrenzen und die Vor- und Nachteile der jeweiligen Vorgehensweisen benennen. Außerdem haben Sie die Fähigkeit, die Leistungsfähigkeit und die Grenzen der behandelten Identifikationsverfahren einzuschätzen und zu bewerten sowie den Unterschied zwischen System- und Parameteridentifikation wiederzugeben. Die Studierenden können die linear eingehenden Parameter eines Systemmodells aus Messdaten mithilfe der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (Least-Squares-Schätzer) oder einer ihrer Erweiterungen in Blockverarbeitung oder rekursiv bestimmen. Bei nichtlinearem Parametereinfluss sind die Studierenden in der Lage, die Parameter aus Messdaten mittels nichtlinearer Least-Squares-Schätzer oder der Maximum-Likelihood-Methode zu ermitteln. Darüber hinaus können die Studierenden die Parameterschätzverfahren in MATLAB implementieren und auch zur Systemidentifikation einsetzen. Die Problemstellung der Identifikation linearer Systeme können sie auch mithilfe von Subspace-Identification-Verfahren in MATLAB lösen und die Vor- und Nachteile verschiedener Subspace-Identification-Algorithmen beschreiben. Zusätzlich sind die Studierenden in der

Lage, die grundsätzliche Vorgehensweise verschiedener nicht-parametrischer Systemidentifikationsverfahren zu beschreiben und Verfahren zur parametrischen Approximation nicht-parametrischer Modelle anzuwenden.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Abgrenzung zu anderen Modellierungsverfahren</li><li>- Überblick über übliche Modellformen</li><li>- Wiederholung von Grundbegriffen der Stochastik</li><li>- Methode der kleinsten Fehlerquadrate zur Parameterschätzung</li><li>- Erweiterungen der Methode der kleinsten Fehlerquadrate</li><li>- Rekursive Parameterschätzung</li><li>- Nichtlineare Parameterschätzung</li><li>- Maximum-Likelihood-Methode</li><li>- Systemidentifikation mit verschiedenen Modellansätzen</li><li>- Subspace Identification zur Black-Box-Identifikation</li><li>- Nichtparametrische Systemidentifikation</li><li>- Parametrische Approximation nichtparametrischer Modelle</li><li>- Umsetzung und Anwendung der Verfahren in MATLAB</li></ul>
<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Isermann, R.: Identifikation dynamischer Systeme 1. Springer-Verlag, Berlin, 1992</li><li>- Isermann, R.: Identifikation dynamischer Systeme 2. Springer-Verlag, Berlin, 1992</li><li>- Ljung, L.: System Identification: Theory for the User, Prentice Hall, Upper Saddle River, 2. Auflage, 1999</li><li>- Nelles, O.: Nonlinear System Identification. Springer, Berlin, 2001</li></ul>
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Identifikation dynamischer Systeme", 2 SWS Übung "Identifikation dynamischer Systeme", Praktische Übung, 0.5 SWS Tutorium "Identifikation dynamischer Systeme", Tutorium unter Nutzung von MatLab, 0.5 SWS
<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 45 h Vor- und Nachbereitung: 60 h Selbststudium: 45 h Summe: 150 h
<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
<b>Grundlage für</b>	-

---

# Integrierte Analogschaltungen

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872269

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch (Wintersemester) / Englisch (Sommersemester)

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns  
Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher  
Jun.-Prof. Dr. Jens Anders

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc, PO2008, PO2010, PO2012, Wahlmodul  
Elektrotechnik, M.Sc, PO2014, Kernmodul  
Informationssystemtechnik, M.Sc, PO2008, PO2010, PO2012, PO2014, Kernmodul  
Communications Technology, M.Sc., PO 2012, Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., PO 2015, Track Communications Circuits and Systems, Compulsory Module  
Communications Technology, M.Sc., PO 2015, Track Communications Engineering, Elective Module

---

**Vorkenntnisse** Grundkenntnisse in Halbleiterbauelementen, Analogen Schaltungen, Regelungstechnik und Signalverarbeitung

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden unterscheiden verschiedene Halbleiterbauelemente und deren Technologie. Sie sind in der Lage das Verhalten und die Anwendungsgebiete des MOST und des BJT zu vergleichen. Sie können verschiedene Kompaktmodelle miteinander vergleichen. Die Studierenden erklären das Verhalten des MOS Transistors, seine Arbeitsweise und den Einfluss elektrischer, fertigungs- und umweltbedingter Nichtidealitäten. Sie beschreiben und analysieren Schaltungen auf Transistorebene unter Nutzung der Kleinsignalparameter und leiten Übertragungsfunktionen des linearisierten Systems her. Die Studierenden unterscheiden die Arbeitsweise und Anwendung von einstufigen Verstärkerschaltungen und nutzen Techniken zur Verstärkungserhöhung. Die Studierenden wenden diese Konzepte an, um Differenzverstärker zu entwerfen und zu analysieren. Sie nutzen Konzepte für die Frequenzgangkompensation und Stabilisierung. Die Studierenden können die Vorteile und die Anwendung verschiedener mehrstufiger Differenzverstärkerschaltungen erklären und

entwerfen und analysieren diese. Sie nutzen Schaltungssimulatoren um diese Verstärkerschaltungen nach einer vorgegebenen Spezifikation zu entwerfen. Die Studierenden sind in der Lage, den Ursprung elektronischen Rauschens zu beschreiben und einfache Schaltungen bzgl. ihres Rauschverhaltens zu analysieren. Sie wenden das Prinzip des eingangsbezogenen Rauschens an und können Techniken zur Rauschreduktion basierend auf Dimensionierung oder Architektur erklären und anwenden. Die Studierenden beschreiben die Vor- und Nachteile von Schalter- Kondensator-Technik Schaltungen der analogen Signalverarbeitung und können diese analysieren und entwerfen. Sie sind in der Lage, das Wissen auf weitere Anwendungen analoger integrierter Schaltungen anzuwenden. Die Studierenden beschreiben und vergleichen die Funktionalität verschiedener ADC und DAC Konzepte. Sie beschreiben das Prinzip von Überabtastung, Noise-Shaping und wenden dies auf das Konzept des Sigma-Delta Modulators an.

---

<b>Inhalt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bauelemente und Nichtidealitäten</li> <li>• MOS und Bipolar-Transistor / Kleinsignalersatzschaltbilder</li> <li>• Onchip-Bias Generierung</li> <li>• Grundsaltungen</li> <li>• Einstufige CMOS Verstärkerschaltungen</li> <li>• Mehrstufige CMOS Differenzverstärker</li> <li>• Elektronisches Rauschen</li> <li>• Schalter-Kondensator-Technik</li> <li>• A/D und D/A Umsetzer</li> </ul>
<hr/>	
<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baker, R.J. "CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation", Wiley</li> <li>- Razavi, B. "Design of Analog CMOS Integrated Circuits", McGraw-Hill</li> <li>- Johns, D. "Analog Integrated Circuit Design", Wiley</li> <li>- Sansen, W. „Analog Design Essentials“, Springer</li> </ul>
<hr/>	
<b>Lehr- und Lernformen</b>	<p>Vorlesung „Integrierte Analogschaltungen“, 3 SWS  Praktische Übungen „Integrierte Analogschaltungen“, 1 SWS</p>
<hr/>	
<b>Arbeitsaufwand</b>	<p>Anwesenheit: 60h  Vor- und Nachbereitung: 120h  Summe: 180h</p>
<hr/>	
<b>Bewertungsmethode</b>	<p>Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.</p>
<hr/>	
<b>Notenbildung</b>	<p>Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.</p>
<hr/>	
<b>Grundlage für</b>	<p>Projekt: Analog CMOS Circuit Design  Vorlesung: Circuit Design in Nanometer-Scaled CMOS Technologies  Elective Modules  Master-Thesis</p>



# Integrated Microwave Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872215

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Wilfried Grabherr  
Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik MSc, Elective Module in Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik MSc, Elective Module in Mikroelektronik  
Elektrotechnik MSc, Elective Module in Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik MSc, Elective Module in Allgemeine Elektrotechnik  
Communications Technology, MSc, Elective Module in Microelectronics  
Communications Technology, MSc, Elective Module in Communications Engineering

---

**Vorkenntnisse** Knowledge of the content of the lectures "Einführung in die Hochfrequenztechnik" or "RF & Microwave Engineering"

---

**Lernergebnisse** After successful completion of lecture and exercises, the students are familiar with the basics of planar transmission line techniques. They are capable to design simple planar components and circuits and are able to familiarize themselves quickly with the design of more complex circuit arrangements. In addition, they know the state-of-the-art interconnect and packaging techniques as well as technologies and methods to fabricate microwave circuits.

---

**Inhalt** Today, microwave circuits are realized, to a great extent, as planar circuits printed on a dielectric substrate material, in specialized form, even in monolithic form on semiconductor material together with respective semiconductor devices (MIC or MMIC). In its first part, the lecture therefore deals with the used planar transmission lines. In addition to a general overview, formulas, and computational procedures are presented to calculate the respective transmission line parameters. To realize complete circuits, quasi-lumped devices, transmission

---

line segments as well as semiconductor devices are necessary which are dealt with in the following sections. Another section presents planar integrated antennas. Finally, packaging and interconnect techniques are introduced as well as fabrication methods for (hybrid) integrated planar circuits. In the exercises, the knowledge of this lecture is deepened, and the application of the methods is practiced. Transmission line structures are calculated and some circuit design is done with a CAD software; the circuits finally are realized and tested experimentally.

---

**Literatur**                    - Lecture handout  
                                     - Text book see lecture handout

---

**Lehr- und Lernformen**        Lecture "Integrated Microwave Systems", 2 SWS  
                                     Exercise "Integrated Microwave Systems", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**            Active Time: 45 h  
                                     Preparation and Evaluation: 30 h  
                                     Self Study: 45 h  
                                     **Sum: 120 h**

---

**Bewertungsmethode**      Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                -

---

# Integrated Interface Circuits

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872274

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Jun.-Prof. Dr. Jens Anders

---

**Dozent(en)** Jun.-Prof. Dr. Jens Anders  
Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, MSc, FSPO 2014 Vertiefungsmodul  
Informationssystemtechnik, MSc, FSPO 2014 Vertiefungsmodul  
Communications Technology, MSc - Mikroelectronics Track, Wahlmodul  
Elektrotechnik, MSc, FSPO 2010/12 Wahlmodul  
Informationssystemtechnik, MSc, FSPO 2010/12 Wahlmodul

---

**Vorkenntnisse** Vorkenntnisse gemäß den Lerninhalten der Vorlesung "Analoge integrierte Schaltungen" sind für eine erfolgreiche Kursteilnahme empfehlenswert.

---

**Lernergebnisse** The students can identify the most relevant noise sources in sensors and sensor readout electronics and predict their effect on the achievable limit of detection. They can distinguish between self-generating and modulating sensors and classify different sensor types with respect to their electrical behavior. The students distinguish different readout concepts including amplitude, phase and frequency sensitive detection and apply these concepts to design example sensory systems. They can explain the advantages and disadvantages of continuous and discrete sensor readout circuits for a given application context. The students can differentiate open-loop and closed-loop readout concepts and identify the pros and cons of each approach for a given target application. The students evaluate the performance difference between absolute and difference measurement systems and their applicability for the formation of integrated circuit based sensors and sensor readouts. The students analyze and synthesize important readout circuit configurations including instrumentation amplifiers, transimpedance amplifiers and switched capacitor readout circuits. The students analyze and compare different A/D and D/A converter structures concerning their achievable performance and

suitability for a given sensor application. The students can explain the concept of time-to-digital conversion and analyze common T/D converter architectures.

---

<b>Inhalt</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Motivation and example sensor Applications<ol style="list-style-type: none"><li>a. Chemical sensors (pH sensors, gas sensors, ...)</li><li>b. Sensors for mechatronics (Hall sensors, gyroscopes, pressure sensors, ...)</li><li>c. Medical imaging sensors (MRI detectors, X-Ray and CT detectors, ultrasound transducers, ...)</li></ol></li><li>2. Noise in sensors and integrated sensor readout circuits</li><li>3. Sensor types<ol style="list-style-type: none"><li>a. Self-generating vs. modulating sensors</li><li>b. Electrical behavior (R, L, C, I-source, V-source, etc.)</li></ol></li><li>4. Readout concepts<ol style="list-style-type: none"><li>a. Amplitude and frequency sensitive detection</li><li>b. Resonant readouts</li><li>c. Phase-sensitive detection (Lock-in amplifiers)</li><li>d. Continuous-time vs. discrete-time readout</li><li>e. Open-loop vs. closed-loop readout</li><li>f. Absolute vs. difference measurements</li></ol></li><li>5. Readout circuit implementations<ol style="list-style-type: none"><li>a. Instrumentation amplifiers</li><li>b. Transimpedance amplifiers</li><li>c. Switched-capacitor readout circuits</li></ol></li><li>6. Data converters for sensor readouts<ol style="list-style-type: none"><li>a. A/D converters</li><li>b. D/A converters</li><li>c. T/D converters</li></ol></li></ol>
---------------	---

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- P.P.L. Regtien: Measurement science for engineers. 358 p. Kogan Page Science: London ; Sterling, VA, 2004. - ISBN 1903996589</li><li>- P.P.L. Regtien: Sensors for mechatronics. Elsevier: Boston, MA, 2012. - ISBN 9780123914972</li><li>- B.R. Bannister: Instrumentation: Transducers and Interfacing. Springer, 2013. - ISBN 9780412342400</li></ul>
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Integrated sensor readout circuits (V), 3 SWS Integrated sensor readout circuits (S), 1 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Lecture: Attendance: 42 h Lecture review: 18 h Seminar preparation: 30 h Preparation of the oral presentation and written documentation: 40h Exam preparation and exam participation: 50 h Total: 180 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens der mündlichen Modulprüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	---

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** Masterarbeit

---

# Introduction to Microwave Communication Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872472

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module

---

**Vorkenntnisse** Module "RF & Microwave Engineering"

---

**Lernergebnisse** After successful completion of this module, students are able to describe the principles of radio communications and of propagation of radio waves. They know how to apply methods of RF & microwave engineering to design and to verify systems used in radio communications. They are able to analyze, design and verify microwave systems.

---

**Inhalt** This lecture introduces students into various aspects of radio communications. Wireless systems are decomposed into subsystems as transmitters, radio channels, and receivers. These systems are systematically analyzed and subdivided into further subsystems. The objective of this lecture is to provide all necessary tools for successfully analyzing radiocommunication systems, and for designing new ones. The lecture covers in particular system aspects of:

- transmission line types,
- passive distributed circuit elements,
- frequency conversion and mixers,
- oscillators, PLL (functional principle and characteristics),
- signal perturbations by mixer noise and phase noise,

---

- function and design of amplifiers,
- noise matching of amplifiers,
- power amplification (small and large signal behavior and intermodulation),
- receiver, transmitter, transponder,
- communication system calculations, link budget.

---

**Literatur**                    - Lecture handout  
                                     - Text books: see lecture handout

---

**Lehr- und Lernformen**            Lecture "RF & Microwave Communication Systems", 2 SWS  
    Exercise "RF & Microwave Communication Systems", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**            Active Time: 45 h  
                                      Preparation and Evaluation: 60 h  
                                      Self-Study: 45 h  
  
                                      Sum: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                -

---

# Introduction to Microwave Engineering

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872473

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module

---

**Vorkenntnisse** -

---

**Lernergebnisse** After successful completion of this module, students are able to identify and to describe important properties of components used in RF & microwave engineering.  
They know to apply basic methods for analyzing and designing RF & microwave circuits and systems. They are capable to find suitable approaches for problems in RF & microwave engineering area.

---

**Inhalt** This lecture introduces students into basic linear systems of RF & microwave applications. Information and power is transported in these systems by means of electromagnetic waves. Consequently, the introduction of mathematical tools to describe waves on lines and their effects to components and systems is the main subject of this lecture. The module covers in particular the following subjects:

- current and voltage waves on (TEM-) lines, power waves,
- relations of these waves to field-waves, skin-effect,
- reflection of waves at line-terminations, Smith-chart,
- impedance transformation by lines and by other components,
- description of linear time-invariant wave-N-ports by scattering parameters,
- signal flow-graph,
- filters, couplers,
- linear distortions of amplifiers
- electronic noise,

---

- basics of antennas

---

**Literatur**                    - Lecture handout  
                                     - Text books: see lecture handout

---

**Lehr- und Lernformen**        Lecture "Introduction to Microwave Engineering", 3 SWS  
                                     Exercise "Introduction to Microwave Engineering", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**            Active Time: 60 h  
                                     Preparation and Evaluation: 45 h  
                                     Self-Study: 45 h  
  
                                     Sum: 150 h

---

**Bewertungsmethode**    Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                RF & Microwave Communication Systems, Lab RF Engineering

---

# Iterative Methods for Wireless Communications

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871150

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Dr. Werner Teich

---

**Dozent(en)** Dr. Werner Teich

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences Communications and Computer Engineering, M.Sc., Optional Module, Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Communications Engineering  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology

---

**Vorkenntnisse** Signale und Systeme, Einführung in die Nachrichtentechnik, Communications Engineering

---

**Lernergebnisse** The students can describe the basic principle of iterative methods, analyze convergence properties and give examples for the main areas of application. Based on the fix-point equation they are able to graphically illustrate and analyze an iterative method. The students can describe and discuss the block diagram of a vector-valued transmission model. They can design different vector equalization schemes (maximum-likelihood equalizer, block linear equalizer, block decision-feedback equalizer, multistage detector, recurrent neural network based equalizer) and they are able to analyze them with respect to performance and to computational complexity. The students are able to employ the probability theory for iterative decoding and analyze as well as create the Tanner graph for a specified linear code. They can discuss the fundamental properties of low-density parity-check codes and convolutional self-orthogonal codes. They can illustrate the basic principles of turbo codes and joint de-mapping, equalization, and decoding (turbo equalization).

---

**Inhalt** Iterative methods are motivated by considering two classical examples: Newtons method to find the roots of nonlinear functions and the Jacobi- and Gauss-Seidel

---

method to solve large systems of linear equations. Based on these examples convergence and convergence rates of iterative methods are discussed. The concept of the fix point iteration is used to provide a graphical interpretation of iterative processes. In chapter two the concept of vector-valued transmission is introduced. Based on this, we derive the optimum receiver structure for general linear modulation methods. Besides the optimum vector equalizer also various suboptimum methods (block linear equalizer, block decision feedback equalizer, multistage detector) are discussed. Furthermore iterative equalizer are introduced and the relation to recurrent neural networks is described. Chapter three first introduces the basic concepts for iterative decoding: maximum a posteriori decoding, probability theory for iterative decoding and tanner graphs as a means to graphically represent iterative decoding. As applications we consider low-density parity-check codes and convolutional self-orthogonal codes. In chapter four iterative methods for concatenated systems are considered. This includes a discussion of classical turbo codes as well as receiver concepts based on a joint demapping, equalization and decoding (turbo equalization). As a further example we consider the basic principle of interleave division multiplexing. The iterative methods are analysed using EXIT charts.

---

**Literatur**

- J. Lindner, "Informationsübertragung - Grundlagen der Kommunikationstechnik", Springer-Verlag, Berlin 2005
- S. Haykin, "Neural Networks – A Comprehensive Foundation", Prentice Hall 1999
- S.J. Johnson, "Iterative Error Correction – Turbo, Low-Density Parity-Check and Repeat-Accumulate Codes", Cambridge University Press 2007

---

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Iterative Methods for Wireless Communications", 2 SWS  
Exercise "Iterative Methods for Wireless Communications", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 45 h  
Preparation and Evaluation: 75 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung. Bei einer erfolgreichen Teilnahme am Matlab-Projekt kommt die Regelung für einen Notenbonus zur Anwendung (Allgemeinen Bestimmungen zu Studien- und Prüfungsordnungen für das Bachelor- und Masterstudium an der Universität Ulm (Rahmenordnung) vom 12. März 2013).

---

**Grundlage für**

keine Angaben

---

# Leistungselektronik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870410

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Dozent(en)** N.N.

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse**

- Physik I und II
- Grundlagen der Elektrotechnik I, II
- Einführung in die Energietechnik

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden kennen die Charakteristika und Einsatzbereiche der unterschiedlichen LE-Bauelemente. Sie verstehen ihre Funktionsweise und können sie hinsichtlich ihres stationären und dynamischen Verhaltens beschreiben. Sie können die Ersatzschaltbilder der wichtigsten Schaltungen (Mittelpunktschaltung, Brückenschaltung, 1Q- 2Q- 4Q- Steller, U- / I-Umrichter, Pulswechselrichter) skizzieren und ihre Funktionsweise beschreiben. Sie können die wesentlichen Steuerverfahren (Blocksteuerung, Pulsweitenmodulation, Unterschwingungsverfahren, Rechteck- Dreieck -, Sinus- Dreieck -, Supersinus -, Raumzeigermodulation) wiedergeben und ihre Funktionsweise beschreiben. Weiter können sie die Bedeutung der Bewertungsgrößen Frequenzvielfaches, Modulationsgrad, Spannungsausnutzung erklären und diese anwenden. Die Studierenden können Berechnungen zur Auslegung von leistungselektronischen Geräten sowie zur Verlustleistung und notwendigen Kühlung durchführen .

---

**Inhalt**

- Charakteristische Größen: Gleichanteil, Oberschwingungen, (Grund- /Schwingungsgehalt, Klirrfaktor / Total Harmonic Distortion, Halbleitereigenschaften statisch, dynamisch
- leistungselektronische Bauelemente:pin-Diode, Transistor, Thyristor, MOSFET, IGBT, Verluste, Kühlarten, Kommutierung, Zwangskommutierung
- Mittelpunktschaltung, Brückenschaltung

---

- (DC-) Steller: 1Q, 2Q, 4Q-Steller; Steuerverfahren
- I-,U-Umrichter, Pulswechselrichter
- Modulationsverfahren; feldorientierte Regelung als Anwendung für Pulswechselrichter

---

**Literatur**

- H. Kabza: Skript zur Vorlesung "Leistungselektronik", Univ. Ulm
- K. Heumann: Grundlagen der Leistungselektronik , 6. Auflage, Stuttgart, Teubner 1996
- K. Hofer: Moderne Leistungselektronik und Antriebe , Berlin, VDE-Verlag, 1995
- F. Jenni, D. Wüest: Steuerverfahren für selbstgeführte Stromrichter, Stuttgart, Teubner, 1995
- R. Lappe, H. Conrad, M.Kronberg: Leistungselektronik , Berlin, Verlag Technik, 1991
- R. Lappe u.a.: Handbuch Leistungselektronik , Verlag Technik Berlin 1995 - Mohan, Undeland, Robbins: Power Electronics - Converters Applications and Design , Wiley & Sons New York 1995
- D. Schröder: Elektrische Antriebe, Band 1 bis 4 , Springer Berlin 1994
- 1998 - U. Schlienz: Schaltnetzteile und ihre Peripherie, Vieweg 2007, Wiesbaden

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Leistungselektronik", 2 SWS  
Übung "Leistungselektronik", 1 SWS  
Labor "Leistungselektronik", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 70 h  
Vor- und Nachbereitung: 44 h  
Selbststudium: 36 h  
Summe: 150 h

---

**Bewertungsmethode**

Teilnahme an allen Praktikumsversuchen als Prüfungsvoraussetzung. In der Regel schriftliche Prüfung von 120 Minuten Dauer, ansonsten mündliche Prüfung

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Prüfung.

---

**Grundlage für**

-

# Mechanics of Materials

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870947

---

**ECTS-Punkte** 3

---

**Präsenzzeit** 2

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Carl Krill, Ph.D.

---

**Dozent(en)** Dr. J.-H. You  
Prof. Carl Krill, Ph.D.

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften

---

**Vorkenntnisse** Materials Science I

---

**Lernergebnisse** At the completion of this course, students will be able to calculate support reactions and internal loadings by the method of sections, applying equations of static equilibrium to free-body diagrams. For a given object of known composition and dimensions, participants will quantify the stresses induced by internal and external loads and compute the resulting deformation for the cases of uniaxial loading, bending and torsion. In light of the maximum stresses and strains determined in this manner, the students will be able to perform a proper dimensioning of load-bearing structures for applications in MEMS and nanotechnology.

---

**Inhalt**

- Topics
- 1. Introduction
  - i. Equilibrium conditions, internal forces
  - ii. Stress
  - iii. Strain
  - iv. Generalized Hooke's law
- 2. Axial loading
  - i. Deformations
  - ii. Thin-walled pressure vessels
- 3. Flexural loading
  - i. Stresses

---

- a. introduction
- b. elastic flexure formula
- c. shear forces and bending moments
- d. shear stress
- ii. Deflections
  - a. introduction
  - b. deflections by integration
  - c. singularity functions
  - d. deflections by superposition
  - e. deflections due to shearing stress
- iii. Statically indeterminate systems
- 4. Torsional loading
  - i. Stress
  - ii. Displacements
  - iii. Thin-walled tubes-shear flow
  - iv. General stress state
- 5. Stress and strain transformation
  - i. Stress transformation equations for plane stress
  - ii. Principle stresses
  - iii. Mohr's circle for plane stress
- 6. Combined loading
  - i. Special cases
  - ii. Theories of failure

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- J. M. Gere: Mechanics of Materials, 6th ed. (Brooks/Cole Thomson, Belmont, CA, 2004)</li> <li>- R. C. Hibbeler: Mechanics of Materials, 6th ed. (Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2005)</li> <li>- W. F. Riley, L. D. Sturges, D. H. Morris: Mechanics of Materials, 5th ed. (Wiley, New York, 1999)</li> </ul>
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Lecture (2 SWS)
-----------------------------	-----------------

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	28 h lecture (presence) 46 h preparation and revision lecture 16 h exam preparation <b>Total: 90 h</b>
-----------------------	---

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens der schriftlichen Modulprüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	---

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	keine Angaben
----------------------	---------------

---

# Messtechnik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872322

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof.Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof.Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Mastermodul des Bereichs Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik Master, Kernmodul  
Informationssystemtechnik, Master Kernmodul  
Informatik Master, Wahlfach  
Medieninformatik Master, Wahlfach

---

**Vorkenntnisse** Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung sowie in Grundlagen der Elektrotechnik, wie sie beispielsweise in der gleichnamigen Vorlesung an der Universität Ulm erworben werden.

---

**Lernergebnisse** Fähigkeit, normgerechte Messungen unter Angabe von Fehler- und Genauigkeitsgrenzen zu konzipieren und die dahinter liegende Theorie zu erläutern. Fähigkeit, die wichtigsten physikalischen Sensoreffekte und daraus aufbaubarer Sensoren zur Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen einschließlich Fertigungstechnologien zu nennen und zu erläutern. Fähigkeit grundlegende Methoden, Komponenten und Verfahren der analogen und digitalen elektrischen Messtechnik zu erläutern und hieraus für konkrete Messaufgaben Messaufbauten zu konzipieren. Fähigkeit, Messanordnungen hinsichtlich ihrer zu erwartenden Genauigkeit zu bewerten. Fähigkeit geeignete Sensoren und Sensorprinzipien für eine Messaufgabe auszuwählen und deren Vor- und Nachteile zu benennen.

---

**Inhalt** Die Vorlesung gibt eine Einführung in Methoden der elektrischen Messtechnik zur Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen und in die zur Durchführung von Messungen üblichen Komponenten und Verfahren. Einige nichtelektrische

---

Messgrößen werden hierbei exemplarisch vertiefend behandelt. Im Detail werden Themen behandelt:

- Einheitensysteme, SI-Einheiten
- Klassische Fehlerrechnung
- Fehlerbetrachtungen nach GUM
- Differenz und Kompensationsprinzip in der Messtechnik
- Messumformer und Messverstärker
- Messrauschen
- AD- / DA-Umsetzer
- Digitale Messtechnik
- Korrelationsmesstechnik
- Physikalische Effekte für Sensoren
- Sensoren und Systeme zur Messung von
  - Temperatur
  - Kraft- und Drehmoment
  - Druck
  - Beschleunigung
  - Länge, Abstand und Geschwindigkeit
  - Drehzahl
  - Durchfluss
  - Strahlung

Im Rahmen der Übung werden grundlegende Verfahren in oben genannten Themenschwerpunkten exemplarisch vertieft.

---

<b>Literatur</b>	Reinhard Lerch: Elektrische Messtechnik , 6., bearb. Aufl. 2012, Springer Vieweg Verlag, 2012. Elmar Schrüfer, Leonhard M. Reindl, Bernhard Zagar Elektrische Messtechnik: Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen. 10. Auflage, Hanser Verlag 2012. Hans-Rolf Tränkler, Leo Reindl Sensortechnik: Handbuch für Praxis und Wissenschaft Springer Vieweg Verlag 2014.
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung Messtechnik, 3 SWS Übungen Messtechnik, 1 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 40 h direkte Nachbereitung: 40 h Übungen: 26 h Vor-, / Nachbereitung: 39 h, Prüfungsvorbereitung und Anwesenheit bei der Prüfung: 35 h Summe: 180 h
-----------------------	---

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	-
----------------------	---



# Methoden der Optimierung und optimalen Steuerung

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871404

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlmodul (Ing)

---

**Vorkenntnisse**

- Grundkenntnisse der höheren Mathematik (insbesondere lineare Algebra)
- Beschreibung linearer und nichtlinearer Systeme im Zeitbereich
- Grundkenntnisse der linearen Regelungstechnik (hilfreich)

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden können die Problemklassen der statischen und dynamischen Optimierung unterscheiden und praktische Optimierungsprobleme mathematisch formulieren. Sie sind in der Lage, Optimierungsprobleme gemäß ihres statischen/dynamischen Charakters und eventueller Beschränkungen zu klassifizieren und zu analysieren. Zudem können die Studierenden die entsprechenden Optimalitätsbedingungen herleiten und diese mit Hilfe geeigneter numerischer Verfahren lösen. Des Weiteren besitzen die Studierenden die Fähigkeit, die nichtlineare modellprädiktive Regelung gemäß ihrer verschiedenen Formulierungen zu klassifizieren und zur Regelung nichtlinearer Systeme einzusetzen.

---

**Inhalt**

- Beispiele der statischen und dynamischen Optimierung
- Grundlagen und -begriffe der Optimierung
- Statische Optimierung ohne/mit Beschränkungen (Optimalitätsbedingungen, numerische Verfahren, etc.)
- Dynamische Optimierung ohne/mit Beschränkungen (Einführung in die Variationsrechnung, Optimalitätsbedingungen, Pontryagin's Maximumprinzip, etc.)
- Numerische Lösung von dynamischen Optimierungsproblemen (direkte/

---

indirekte Verfahren)  
- Nichtlineare modellprädiktive Regelung

---

**Literatur**

- J. Nocedal, S.J. Wright: Numerical Optimization. Springer, 2006
- S.Boyd, L. Vandenberghe: Convex Optimization. Cambridge University Press, 2004
- M. Papageorgiou: Optimierung, 2. Auflage, Oldenbourg, 1996

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Methoden der Optimierung und optimalen Steuerung", 2 SWS  
Übung "Methoden der Optimierung und optimalen Steuerung", Praktische Übung, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit Vorlesung: 40 h  
  
Präsenzzeit Übungen: 20 h  
Direkte Nachbereitung: 40 h  
  
Vor-, Nachbereitung: 30 h  
Prüfungsvorbereitung und Anwesenheit bei der Prüfung: 50 h  
Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# Mixed-Signal CMOS Chip Design

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871045

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 2.5

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Joachim Becker  
Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Einordnung in die Studiengänge**

Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module,  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Microelectronics  
Embedded Systems, M.Sc., Application Subject, Mixed Signal Systems

---

**Vorkenntnisse** Basic knowledge of semiconductor devices, analog circuits, control theory and signal processing

---

**Lernergebnisse**

This lecture goes along with the analog and digital CMOS circuit design lectures offered by the institute of microelectronics. In contrast to these more theoretical lectures on circuit design techniques, this lecture is focused on the implementation issues of application specific integrated circuits (ASICs). After successful pass of this course, students understand the working principles of analog and digital circuit simulation techniques. They are able to set up a node admittance matrix from a given circuit and know the working principles and applications of the three main analog simulation types: DC, AC, and transient. They understand linearization of device models and Newton-Raphson integration for solution of differential equations, update and residue criteria, and equilibrium points. Furthermore, they understand process variation and device mismatch

---

and their influence on CMOS circuits and are able to use worst case corner modeling and statistical evaluation methods like Monte Carlo analysis for yield optimization and design centering. They can elaborate the difference between cycle-based and event-driven digital simulation techniques, including half-step simulation and time-wheel scheduling. They are able to use setup- and hold-time constraints as well as contamination- and propagation-delays for calculation of slack times in a static timing analysis and can explain the effect of clock skew and jitter on synchronous circuits. They can elaborate how table-based models and circuit-partitioning is able to significantly speed up simulations and enables mixed-signal verification. They can estimate the tradeoff between manual modeling, compiled-model interface, and coupled co-simulation for mixed-mode analyses. They understand synthesis of combinational and synchronous behavioral

hardware description into generic gates. Furthermore, they are able to use the stuck-at fault-model and the D-algorithm in order to analyze testability and include boundary-scan Flip-Flops for improved testability. They know principles of placement and routing of standard-cells including min-cut algorithm, mazeand channel-routing, and layout compaction, as well as design-rule-check and layout-versus-schematic-check. They are able to build a clock-distribution network and make use of timing aware placement, as well as build a power-grid and apply I/O-cells in order to improve the reliability of digital circuits. Finally, they know various bonding-techniques and printed-circuit-board design practices in order to connect the final ASIC to other chips and measurement equipment. There is a strong emphasis on the computer aided design (CAD) support and algorithms, which are integral part of todays chip implementation. The exercises will be used to give hands-on experience with industry-standart CAD design tools.

---

#### **Inhalt**

- analog simulation
- digital simulation
- mixed-signal and co-simulation
- design for reliability
- design for testability
- CMOS layout, floorplanning, standart-cells
- layout parasitic extraction and verification
- packaging and board design

---

#### **Literatur**

- Baker - CMOS : Circuit design, layout, and simulation
- Razavi - Design of Analog CMOS Integrated Circuits
- Allen, Holberg - CMOS Analog Circuit DesignI
- Sedra, Smith - Microelectronic Circuits

---

#### **Lehr- und Lernformen**

Lecture "Mixed-Signal CMOS Circuit Design", 2 SWS  
 Exercise "Mixed-Signal CMOS Circuit Design", 0.5 SWS

---

#### **Arbeitsaufwand**

Active Time: 38 h  
 Preparation and Evaluation: 82 h  
 Sum: 120 h

**Bewertungsmethode** Teilnahme an Vorlesungen und Übungen, in der Regel mündliche Prüfungen.

---

**Notenbildung** Anhand des Ergebnisses der Prüfung

---

**Grundlage für** Elective Modules, Master-Thesis

---

# Modellbildung dynamischer Systeme

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871406

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Michael Buchholz

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul (Ing)

---

**Vorkenntnisse**

- Grundlagen Höhere Mathematik
- Grundlagen Physik
- Beschreibung von dynamischen Systemen im Zeitbereich

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden können die rigorose Modellbildung von weiteren Arten der Modellbildung abgrenzen und die Vor- und Nachteile der jeweiligen Vorgehensweisen benennen. Darüber hinaus sind sie in der Lage, die Auswirkung von Vereinfachungen bei der Modellbildung abschätzen und einordnen zu können. Die Studierenden haben die Fähigkeit, die Modellgleichungen von dynamischen technischen Systemen mithilfe des Prinzips nach Newton-Euler, der Lagrangeschen Gleichungen 1. und 2. Art, des Prinzips von d'Alembert sowie den Hamiltonschen Gleichungen abzuleiten und aufzustellen. Darüber hinaus können sie physikalische Systeme aus verschiedenen Domänen als verallgemeinerte Netzwerke modellieren, darstellen und daraus die mathematische Beschreibung der Bewegungsgleichungen ableiten. Die Studierenden sind darüber hinaus in der Lage, verschiedene Methoden zur Ordnungsreduktion von Systemmodellen zu benennen und die Ordnungsreduktion nach Litz anzuwenden.

---

**Inhalt**

- Abgrenzung verschiedener Modellierungsverfahren
- Vorgehen bei der rigorosen Modellbildung
- Beschreibung von Systemen durch verallgemeinerte Netzwerke
- Einführung in Kinematik und Kinetik

---

- Modellbildung nach Newton-Euler
- d'Alembertsches Prinzip
- Lagrangsche Gleichungen
- Hamiltonsches Prinzip
- Hamiltonsche Gleichungen
- Modale Ordnungsreduktion nach Litz

---

**Literatur**

- Beitz, W., Grote, K.-H. (Hrsg.): Dubbel. Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer-Verlag, Berlin, 2001
- Gross, H.; Hauger, W.; Schnell, W.: Technische Mechanik, Band 3: Kinetik. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1995
- Isermann, R.: Mechatronische Systeme: Grundlagen. Springer-Verlag, Berlin, 1999
- Pfeiffer, F.: Einführung in die Dynamik. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1989
- Schiehlen, W. O.: Technische Dynamik. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1986
- Ulbrich, H.: Maschinendynamik. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1996
- Fabien, B.: Analytical System Dynamics: Modeling and Simulation. Springer, New York, 2009
- Kuypers, F.: Klassische Mechanik. 7. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2005

---

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Modellbildung dynamischer Systeme", 2 SWS  
Übung "Modellbildung dynamischer Systeme", praktische Übung, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 45 h  
Vor- und Nachbereitung: 60 h  
Selbststudium: 45 h  
Summe: 150 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**

-

# Modern Semiconductor Devices

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871228

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher  
Jun.-Prof. Dr. Steffen Strehle

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** Basic knowledge of solid-state physics: semiconductors; band structure in real and in k-space; drift and diffusive transport

---

**Lernergebnisse** Students recognize the importance of energy band diagrams for the analysis and appraisal of advanced electronic devices. They then discover how doping variations and heterostructures are used in current semiconductor devices to control the distribution and motion of free charge carriers. Relevant transistor structures are differentiated according to their charge control mechanism. Students then identify large signal and small signal equivalent circuits, and discuss how intrinsic physical mechanisms are reflected at the component and circuit level. They relate geometrical constraints of high speed transistor families to their economic importance, and briefly review important microfabrication techniques.

---

**Inhalt** Semiconductor Fundamentals:  
- Energy band diagrams  
- Doping  
- MOS-, pn- and Schottky junctions  
- Semiconductor Heterostructures

---

Electronic semiconductor devices:

- MOSFET
- MESFET
- HEMT
- BJT
- HBT

Application aspects of semiconductor devices in RF/microwave communicationsystems:

- Performance parameters
- System requirements
- Economical issues

---

**Literatur**

- Simon Sze, Physics of Semiconductor Devices
- S. Prasad, H. Schumacher, A. Gopinath, High Speed Electronics and Optoelectronics (Chapter 1 and 2)
- Full set of slides, video sequences on e-learning platform

---

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Modern Semiconductor Devices", 2 SWS  
Exercise "Modern Semiconductor Devices", 1 SWS  
Laboratory "Modern Semiconductor Devices", 1x2 hours (one event)

---

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 36 h  
Preparation and Evaluation: 84 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**

Microfabrication lab (compulsory prerequisite)  
Monolithic Microwave ICs in High-Speed Systems (recommended)

---

# Monolithic Microwave ICs in High-Speed Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870457

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher  
Prof. Dr.-Ing. Heinrich Dämbkes  
Dr. Vaclav Valenta

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module,  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications Technology, M.Sc., Communications Circuits and Systems Track  
Communications Technology, M.Sc., Communications Engineering Track

---

**Vorkenntnisse** Radio Frequency Engineering; Modern Semiconductor Devices

---

**Lernergebnisse** Students recognize fundamental requirements of microwave and millimeter-wave communication and sensing systems. They review and analyze important circuit topologies and identify those which meet the requirements. They then synthesize circuits to meet the requirements of select examples, assess their performance using computer aided design tools, and compare the results obtained with the requirements.

---

**Inhalt**

- General overview of MMIC design techniques
- Important CAD tools and models
- Substrate properties and their impact on MMiC design techniques
- Fundamental building blocks
  - Low noise amplifiers
  - Wideband amplifiers
  - Distributed circuit topologies
  - Oscillators
  - Mixers

---

- Frequency multipliers and dividers
- Phase locked loop concepts
- Introduction to practical design using the Keysight ADS design environment

---

**Literatur**

- D.M. Pozar: Microwave Engineering , Addison-Wesley, 1990
- G.D. Vendelin, A.M. Pavio, U.L.Rohde: Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques , Wiley, 1990
- R.E. Collin: Foundation for Microwave Engineering , McGraw-Hill, 1992
- R.S. Elliott: An Introduction to GuidedWaves and Microwave Circuits , Prentice-Hall, 1993
- G.Matthaei, L. Young & E. Jones: Microwave Filters, Impedance-Matching Networks & Coupling Structures , Artech House, 1980
- C.G. Montgomery, R.H. Dicke and E.M. Purcell: Principles of Microwave Circuits (reprint of Radiation Laboratory volume 8 ) , IEEE Press, 1987
- F.E.Gardiol: Introduction to Microwaves , Artech House, 1984
- Bahl and P. Bhartia: Microwave Solid-State Circuit Design , Wiley, 1988
- S. Prasad, H. Schumacher, A. Gopinath, High Speed Electronics and Optoelectronics (Chapter 5)

---

**Lehr- und Lernformen**

The course is conducted in a flipped classroom setting. Students review video lectures in their own time, classroom time is devoted to discussing the lecture content, applying the subject matter to examples, and practical design exercises.

---

**Arbeitsaufwand**

Review of video lectures including online Q&A: 42 h  
Classroom discussions and design exercises: 26 h  
Preparation of design practice sessions (labs): 34 h  
Participation in design practice sessions: 27 h  
Exam preparation, incl. design: 50 h  
Exam participation: 1 h  
Total: 180 h

---

**Bewertungsmethode**

Admission to exam requires participation in at least 6 out of 9 exercise sessions (in class and laboratory).  
Oral exam: defense of a design prepared based on a paper from recent literature. The paper has to be reviewed, analyzed, and its concepts transferred to a different problem set. Preparation and presentation of a 15-20 min talk, followed by discussion. Total length of exam: 45 minutes.

---

**Notenbildung**

Grade of module is equal to grade of the oral exam

---

**Grundlage für**

Master thesis on microwave IC design

---

# MOS Halbleitertechnik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870449

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Dr. Wolfgang Ebert

---

**Dozent(en)** Dr. Wolfgang Ebert

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Mikroelektronik

---

**Vorkenntnisse** Grundlagen der Halbleiterbauelemente

---

**Lernergebnisse** Die Ziele der Vorlesung MOS-Halbleitertechnologie bestehen darin, dass die Studenten ausführlich alle grundlegenden technologischen Prozesse benennen können, die für die Herstellung von MOS-Transistoren erforderlich sind. Die Studenten erkennen, wie MOS-Transistoren aufgebaut sind und beschreiben, auf welchen physikalischen Prinzipien deren Wirkungsweise beruht. Dadurch werden sie befähigt, Transistorkennlinien zu interpretieren und die Kontakt- und Halbleitereigenschaften zu charakterisieren. Sie differenzieren zwischen verschiedenen Herstellungstechnologien (n-MOS, CMOS) und beschreiben grundlegende Anwendungen von MOS-Transistoren (Schalter, Inverter). Abschließend diskutieren die Studenten, welche Probleme die Miniaturisierung der Transistoren in technologischer- und physikalischer Hinsicht hervorruft erklären, wie diese Probleme gelöst werden können.

---

**Inhalt** Einführung in die grundlegenden Prozesse der Si-Planartechnologie, physikalische Grundlagen des MOSFET, MOSFET als Kleinsignalverstärker, Schalter und Inverter (n-MOS, CMOS)

---

**Literatur** - Sze, S.M.:Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons Inc., New York, 1981  
- Pierret, R.F.:Semiconductor Fundamentals, (Modular Series on Solid State Devices, Vol. 1 ), Addison-Wesley Reading, 1988

---

**Lehr- und Lernformen** Vorlesung "MOS Halbleitertechnik", 2 SWS  
Übung "MOS Halbleitertechnik", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 60 h  
Vor- und Nachbereitung: 70 h  
Selbststudium: 50 h  
Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# Multiuser Communications and MIMO Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871727

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch oder Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and System Technology  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Elective Module, (Ing)  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Communications Engineering

---

**Vorkenntnisse** Module "Einführung in die Nachrichtentechnik", "Communications Engineering" und "Signale und Systeme".

---

**Lernergebnisse** The students will be able to assess, compare, and design digital transmission systems where a number of users/signals are treated jointly. They can distinguish the different performance measures and explain the trade-off between them. Equalization and pre-equalization schemes can be assessed and designed according to pre-described criteria. The role of lattices in the present context can be outlined. Advanced state-of-the-art precoding approaches can be appraised.  
The information-theoretical foundation of multiuser communications can be described and applied for their evaluation. The role of interference in such schemes can be illustrated.

---

**Inhalt** Introduction into the field of multiuser communications and multipleinput/multiple-output systems. Both, practical transmission schemes, as well as fundamental limits from information theory are covered.  
- Introduction  
- MIMO Communications  
- Introduction to Lattices

---

- Lattice Decoding and the "Sphere Decoder"
- Equalization via Lattice Reduction
- "Writing on Dirty Paper"
- Multiuser Communications
- Advanced Transmitter-Side Techniques
- Interference Channel

---

**Literatur**

- D. Tse, P. Viswanath: Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge University Press, May 2005.
- A. Goldsmith: Wireless Communications. Cambridge University Press, August 2005.
- T.M. Cover, J.A. Thomas: Elements of Information Theory. John Wiley & Sons, second edition, Sept. 2006.
- J.G. Proakis, M. Salehi: Digital Communications. Mcgraw-Hill Publ. Comp., fifth edition, Nov. 2007.
- A. Paulraj, R. Nabar, D. Gore: Introduction to Space-Time Wireless Communications. Cambridge University Press, May 2003.
- E. Biglieri, R. Calderbank, A. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj, H.V. Poor: MIMO Wireless Communications. Cambridge University Press, Jan. 2007.
- H. Bölcskei, D. Gesbert, C.B. Papadias, A.-J. van der Veen (editors): Space-Time Wireless Systems: From Array Processing to MIMO Communications. Cambridge University Press, June 2006.
- E.G. Larsson, P. Stoica: Space-Time Block Coding for Wireless Communications. Cambridge University Press, May 2003.
- A.B. Gershman, N.D. Sidiropoulos: Space-Time Processing for MIMO Communications. John Wiley & Sons, 2005.

---

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Multiuser Communications and MIMO Systems", 3 SWS  
 Exercise "Multiuser Communications and MIMO Systems", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 60 h  
 Preparation and Evaluation: 120 h  
 Sum: 180 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**

-

# Neural Networks and Pattern Recognition

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870439

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Ulrich Kreßel

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering  
Information Systems Technology, M.Sc., Optional Module  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Communications Engineering

---

**Vorkenntnisse**

- Basics of Stochastic
- Basics of Linear Algebra
- Basics of Digital Signal Processing

---

**Lernergebnisse**

The students are able to analyze a real world pattern recognition problem, to transform the problem into a schematic processing chain of recognition and to identify the main steps: data acquisition, segmentation, feature extraction, classification and context based interpretation. They know in detail the three basic theories: decision, approximation, and learning theory, and can explain, how these mathematical theories support the engineering approach to pattern recognition. The students also can distinguish between different approaches to function approximation, such as polynomial classifier, multilayer perceptron, and radial basis functions, can apply all of them, select the most appropriate one for a given problem and design (structure) and adapt (parameters) them accordingly. They also know further concepts of classification, such as cluster analysis, normal distribution hypothesis, support vector machine and cascade classifiers, in order to differentiate them from each other and also to argue, where and when to use them. The students know, how to collect data for a pattern recognition task, and

how to compose, evaluate and compare different approaches. They are able to apply these data bases to real world classification problems.

---

<b>Inhalt</b>	Processing chain for pattern recognition as data acquisition, segmentation, feature extraction, classification and context based Interpretation, feature definition, classes, learning from examples, generalization, function approximations Fundamental Theories: Decision Theory, Approximation Theory and Learning Theory General Algorithms: Bayes Classifier and Least Mean Squares Approach, Polynomial Classifier, Multilayer Perceptron: Multi References Classifiers: Radial Basis Functions, Nearest Neighbor Classifier Cluster Analysis: K-Means, Vector Quantization, Divisive Clustering Normal Distribution Hypothesis: Quadratic and Linear Decision Boundaries, Matched Filter Support Vector Machine: Risk Minimization, Optimal Margin Classifier, Pairwise Classification Cascade Classifiers: Viola Jones, Adaptive Boosting, Random Trees Practical Examples: Digit Recognition, Traffic Sign Recognition, Pedestrian Detection.
<b>Literatur</b>	- Richard O. Duda, Peter E. Hart, and David G. Stork: Pattern Classification (2nd Edition), Wiley-Interscience, 2001 - Jürgen Schürmann: Pattern Classification: A Unified View of Statistical and Neural Approaches, Wiley-Interscience, 1996
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Lecture "Neural Networks and Pattern Classification", 2 SWS Exercise "Neural Networks and Pattern Classification", 1 SWS
<b>Arbeitsaufwand</b>	Active Time: 45 h Preparation and Evaluation: 45 h Self-Study: 30 h Sum: 120 h
<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer mündlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
<b>Grundlage für</b>	-

---

# Nichtlineare Regelungen

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870417

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlmodul

---

**Vorkenntnisse**

- Grundkenntnisse der höheren Mathematik (insbesondere lineare Algebra)
- Beschreibung linearer, zeitinvarianter Systeme (LTI-Systeme) im Frequenz- und Zeitbereich
- Grundlagen der linearen Regelungstechnik (Stabilität, Steuerbarkeit, Beobachtbarkeit, Entwurf linearer Zustandsregler & -beobachter)

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden verstehen die Besonderheiten und Phänomene von nichtlinearen Systemen und können diese beschreiben und analysieren. Sie sind in der Lage, das Stabilitätsverhalten nichtlinearer Systeme zu untersuchen und die Steuerbarkeit bzw. Erreichbarkeit von nichtlinearen Systemen mit Hilfe von differenzialgeometrischen Methoden zu analysieren. Des Weiteren können die Studierenden moderne nichtlineare Regelkonzepte durch die exakte Linearisierung nichtlinearer Systeme entwerfen und das Konzept der differentiellen Flachheit zur Steuerung und Regelung nichtlinearer Systeme eigenständig anwenden. Nach dem Besuch der Veranstaltung beherrschen die Studierenden zudem den Umgang mit geeigneter Computer-Algebra-Software und können diese zur Umsetzung der obigen Methoden bei nichtlinearen Regelungsproblemen einsetzen.

---

**Inhalt**

- Beispiele für nichtlineare physikalische Systeme und nichtlineare Effekte
- Besonderheiten und Phänomene nichtlinearer Systeme

---

- Analyse von nichtlinearen Systemen
- Stabilität nichtlinearer Systeme (Lyapunov-Stabilität)
- Lyapunov-basierter Reglerentwurf (Backstepping)
- Steuerbarkeit und Erreichbarkeit nichtlinearer Systeme
- Zustandsreglerentwurf durch exakte Linearisierung
- Differenzielle Flachheit
- Flachheitsbasierte Steuerung und Regelung nichtlinearer Systeme

**Literatur**

- H.K. Khalil. Nonlinear Systems. Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002
- S. Sastry. Nonlinear Systems. Springer, New York, 1999
- A. Isidori. Nonlinear Control Systems. Springer, Berlin, 3rd edition, 1995
- J. Adamy. Nichtlineare Regelungen. Springer, Berlin, 2009
- J.-J. Slotine, W. Li. Applied Nonlinear Control. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1991
- M. Vidyasagar. Nonlinear Systems Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2nd edition, 1993.
- M. Krstic, I. Kanellakopoulos, and P. Kokotovic. Nonlinear and Adaptive Control Design. John Wiley & Sons, New York, 1995

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Nichtlineare Regelungen", 2 SWS  
 Übung "Nichtlineare Regelungen", 0.5 SWS ( praktische Übung)  
 Tutorium "Nichtlineare Regelungen", 0.5 SWS

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 45 h  
 Vor- und Nachbereitung: 60 h  
 Selbststudium: 45 h  
 Summe: 150 h

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für**

-

# Optical Communications

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871723

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Michalzik

---

**Dozent(en)** apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Michalzik

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module,  
Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module

---

**Vorkenntnisse** Bachelor. No prerequisites from other modules required. Some basic knowledge of semiconductor physics and devices would be helpful

---

**Lernergebnisse** The students are able to summarize the benefits of optical versus electrical data transmission. They can employ a ray-optical model to describe the light propagation in optical waveguides and can identify situations where a wave-optical model is needed. The students can name and sketch different kinds of optical fibers as well as discuss the associated dispersion mechanisms which lead to bandwidth limitations. Origins of loss in optical fibers can be listed and fiber fabrication be outlined. They can state boundary conditions of field variables to formulate characteristic equations for waveguide problems. The students can describe the structure of common semiconductor crystals as well as the composition dependence of parameters required to model the wave propagation. Appropriate semiconductor material systems for particular applications can be selected and interband transition mechanisms be sketched. They are able to explain the operation of a light emitting diode and rate their use in fiber-based optical communication systems. The students can illustrate the function of a laser diode and name the contributions to the laser rate equations. They master to solve the rate equations for static and dynamic operating conditions. The students can discuss the role of a pn-junction for light detection. Factors influencing the efficiency and the bandwidth of a photodiode can be pointed out. They can relate the current noise in a photoreceiver to the measured bit error ratio of a digital optical communication link. The optical power budget can be calculated. The students are able to list and discuss multiplexing techniques for increasing the data throughput of an optical communication system. The basic function of optical

(de-)multiplexing devices can be stated. They can moreover sketch the building blocks of an optical repeater and explain the operation of an optical fiber amplifier.

---

<b>Inhalt</b>	<p>This module provides a solid basis for understanding fiber-optic data transmission systems. Important components like the silica optical fiber as transmission medium, light emitting diode or laser diode transmitters, optical amplifiers, as well as photodiode receivers are discussed in some detail. The entire system is characterized in terms of its bit error ratio performance and its power budget. The following topics are addressed:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Properties of optical communication systems</li><li>- Optical fibers: ray-optical model, step-index and graded-index fibers, wave-optical model, chromatic dispersion</li><li>- Wave propagation in planar waveguides</li><li>- Loss in optical fibers: absorption and scattering</li><li>- Fabrication of fibers</li><li>- Semiconductor materials: crystal lattices, direct and indirect bandgaps, mixed compound semiconductors, absorption and refractive index, emission and absorption</li><li>- Light-emitting diodes for communications</li><li>- Laser diodes</li><li>- Photodiodes</li><li>- Optical communication systems: detection sensitivity for digital signals, optical power budget</li><li>- Signal multiplexing: electrical time division multiplexing (ETDM), dense and coarse wavelength division multiplexing (WDM), optical (de-)multiplexing devices, space division multiplexing (SDM)</li><li>- Signal restoration: electronic repeater, erbium-doped fiber amplifier (EDFA), alternative optical amplifiers</li></ul>
<b>Literatur</b>	A comprehensive English written manuscript is provided
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Lecture "Optical Communications", 3 hours per week Exercise "Optical Communications", 1 hours per week
<b>Arbeitsaufwand</b>	Preparation and Evaluation: 56 h Active Time: 49 h Self-Study: 75 h Sum: 180 h
<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
<b>Grundlage für</b>	Lecture "Advanced Optoelectronic Communication Systems", Lecture "Optoelectronic Devices", Laboratory "Optoelectronics"

---

# Optoelectronic Devices

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872065

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Michalzik

---

**Dozent(en)** apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Michalzik

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Information Systems Technology, M.Sc., Optional Module  
Communications Technology, M.Sc., Optional Module

---

**Vorkenntnisse** Modules "Optical Communications" or "Einführung in die Optoelektronik"

---

**Lernergebnisse** The students are able to describe the modal properties of laser diodes in all three spatial directions and can summarize the temperature-related effects. They can distinguish between gain and index guiding and can relate optical near- and far-fields. The students can describe the origin of parasitic frequency modulation and explain the influence of spontaneous emission noise. They can express the motivation and practical implementation of mirror coatings. They are able to design Bragg mirrors for use in edge-emitting distributed feedback (DFB) and distributed Bragg reflector (DBR) laser diodes as well as for vertical-cavity surface-emitting lasers (VCSELs). They can sketch the layer structures of these three laser diode types and select their layout to achieve dynamic single-mode emission. The students can name the mechanisms of wavelength tuning of laser diodes and illustrate suitable device implementations. They are able to discuss the designs and operating principles of various types of photodetectors and to identify strengths and weaknesses for their use in optical communication systems. The students can moreover list and describe physical effects that are employed to realize optical phase and amplitude modulators with high operation bandwidth exceeding that of directly modulated laser diodes. Corresponding devices can be sketched and their function explained. The students are able to show

how phase modulation is converted into amplitude modulation in a Mach–Zehnder interferometer configuration. They master to employ such devices for the generation of higher-order optical modulation formats.

---

**Inhalt**

- Edge-emitting semiconductor lasers: longitudinal multimode, lateral and transverse mode behavior, temperature effects, optical near- and far-fields, frequency modulation, mirror coatings, laser noise, high-power lasers, DBR and DFB lasers for use in telecommunications, tunable laser diodes
- Vertical-cavity surface-emitting lasers (VCSELs): principles and applications
- Photodetectors: PIN-type, avalanche photodiode (APD), metal–semiconductor–metal (MSM), resonant-cavity-enhanced, waveguide-type, high-speed designs
- Optical modulators: physical effects (plasma, electroabsorption (Franz–Keldysh), quantum-confined Stark (QCSE), electro-optic (Pockels)), phase modulators, Mach–Zehnder interferometer (MZI) modulators, absorption modulators, generation of higher-order modulation formats such as quaternary phase shift keying (QPSK) used in modern optical communication systems

---

**Literatur** A comprehensive English written manuscript is provided

---

**Lehr- und Lernformen** Lecture “Optoelectronic Devices”, 3 hours per week

---

**Arbeitsaufwand** Preparation and Evaluation: 78 h  
Active Time: 42 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer mündlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# Propagation and Antennas

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872474

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., Elective Module

---

**Vorkenntnisse** RF & Microwave Engineering or Einführung in die Hochfrequenztechnik

---

**Lernergebnisse** After successful completion of this module, students are able to describe the properties of waves and wave propagation in the atmosphere. They are able to design antennas and antenna arrays with respect to given applications for both communications and sensing. The students are able to analyze antennas in the time domain, and they are able to measure antennas correctly both using an anechoic chamber and by sampling the electromagnetic field in the near-field region.

---

**Inhalt** The module covers in particular the following subjects:  
- wave propagation in the atmosphere,  
- basics of antennas, overview of different antenna types, group antennas, phased arrays,  
- antenna measurement techniques,  
- antennas in time domain.

---

**Literatur** - Lecture handout  
- Text book see lecture handout

---

**Lehr- und Lernformen** Lecture "Antennas and Propagation", 2 SWS  
Exercise "Antennas and Propagation", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Active Time: 45 h  
Preparation and Evaluation: 30 h  
Self-Study: 45 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** This modul is basis for some of the Master Theses offered by the Institute of Microwave Techniques.

---

# Radio- Frequency Power- Amplifier Design

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872075

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Dr.-Ing. Christoph Bromberger

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Christoph Bromberger

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module  
Communications Technology, M.Sc., Optional Module  
Information Systems Technology, M.Sc., Optional Module

---

**Vorkenntnisse** Bachelor-Level  
Analog Design Skills  
Some understanding of S-parameters is helpful

---

**Lernergebnisse** After the first half of the lecture, the students identify the requirements from mobile communication systems for power amplifier design. Attendees recognize potential challenges in applying HF measurement equipment and employ techniques to circumvent them. Students differentiate between small- and large-signal operation and examine the respective strengths and limitations of time-domain and of S-parameter methods. They appraise for the real-world limitations to PA design, HF bandwidth and signal bandwidth. After the second half, participants discriminate different efficiency enhancement concepts and apply load modulation amplifier design techniques.

---

**Inhalt**

- Data encoding, signal statistics and consequences for power amplifiers
- Measuring power devices
- Small-signal vs. large-signal operation, LF vs. HF behavior
- Matching power devices using measurement and small-signal tools
- Some nasty shortcomings of nice theoretical approaches
- The Doherty amplifier and its design

---

- Outphasing, pre-distortion, feed-forward and switching mode Pas
- In the exercises, students engross in the concepts by applying them with the help of ADS to real-world designs.

---

**Literatur**                    - A script is available in the lecture  
                                     - Steve Cripps, RF Power Amplifiers

---

**Lehr- und Lernformen**            Lecture "Radio-Frequency Power-Amplifier Design", 2SWS  
   Exercise "Radio-Frequency Power-Amplifier Design", 1SWS

---

**Arbeitsaufwand**                Lectures: 30 h  
   Exercises: 10 h  
   Self-Study: 20 h  
   Homework: 30 h  
   Exam Preparation and Evaluation: 30 h  
   Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                    Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                    Master thesis with radio frequency electronics content

---

# Radar- und Kommunikationssysteme

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872213

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Mikroelektronik

---

**Vorkenntnisse** Einführung in die Hochfrequenztechnik

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden sind nach erfolgreichem Abschluss des Moduls in der Lage, Prinzipien der Hochfrequenztechnik zum Entwurf und zur messtechnischen Überprüfung von Systemen aus Kommunikationstechnik und Sensorik anzuwenden. Sie sind fähig, die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Sende-Empfangs-Systeme und deren Subsysteme, die Eigenschaften von Kommunikationssystemen sowie unterschiedliche Radiometer- und Radaranwendungen einzuschätzen. Sie sind in der Lage, die Prinzipien der Diversität auf Antennensysteme anzuwenden und MIMO-Systeme zu analysieren. Sie haben grundlegende Kenntnisse von analogen und digitalen Modulationsverfahren.

---

**Inhalt** Die Vorlesung und Übungen haben im einzelnen die folgenden Kapitel zum Inhalt:  
- analoge und digitale Modulation,  
- Diversität,  
- MIMO,  
- digitale Strahlformung,  
- Radiometrie (Mikrowellenstrahlung, die jeder „warme“ Körper aussendet, kann zur Detektion oder Temperaturmessung genutzt werden),  
- Radar mit den verschiedenen Radarverfahren, ihrer Realisierung, ihren Eigenschaften und der benutzten Antennen (Doppler-, CW-, FMCW-, Pulsradar,

---

phasengesteuertes Radar, SAR),  
- Navigationssysteme (Flugzeug-Landesysteme wie ILS oder MLS und Systeme zur Positionsbestimmung (GPS, GLONASS)).

---

**Literatur**                   - Vorlesungsskript  
                                  - Lehrbücher siehe Vorlesungsskript

---

**Lehr- und Lernformen**       Vorlesung Radar- und Kommunikationssysteme, 3 SWS  
                                  Übung Radar- und Kommunikationssysteme, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**           Präsenzzeit: 60 h  
                                  Vor- und Nachbereitung: 60 h  
                                  Selbststudium: 60 h  
                                  Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode**   Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**             Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**           Dieses Modul ist Grundlage für einen Teil der im Institut für Mikrowellentechnik durchgeführten Masterarbeiten

---

# Renewable Energy Use and Distributed Energy Technologies

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871043

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Jian Xie

---

**Dozent(en)** N.N.

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse** BSc degree

---

**Lernergebnisse** Students are able to understand and explain the construction and functional mechanisms of hydro-, wind -, solar thermal- and photovoltaic power plants of different kinds and describe and explain their components. They can perform base calculations for the design, for the dimensioning of component parameters and for the operation of such power plants. Students do understand and are able to explain the balance terms “cumulated energy input, energy gain ratio, energy pay-back time” and use them for approximative calculations. They can distinguish the different kinds of potentials in the use of regenerative sources with different technologies and give approximative quantities for them. Students can reproduce approximative quantities of real use and perform elementary calculations in these fields. They can describe and explain the reasons for limitations in the use of regenerative sources. Students are familiar with the technical possibilities for long-distance energy imports from regenerative sources and can point out the necessary effort and cost.  
They can describe possible storage technologies together with their problems. Students do understand and are able to describe structure and functional mechanisms in cogeneration as well as absorption cooling technologies together with their advantages / disadvantages.

---

**Inhalt** The course gives an overview on technologies using renewable sources and the concepts of distributed power technologies. At the center of the course is a comparison of various technologies to produce electricity or thermal energy for

---

room heating and warm water production in terms of

- primary energy input
- energy pay-back time and energy gain ratio
- consumption of materials, resources and area

- ecological impact
- economy and cost

To do so the physical fundamentals, the peculiarities and the degree of usage as well as the potential for use of the following technologies are discussed in detail:

- hydro power
- wind power
- photovoltaics
- low-temperature solar thermal power
- high-temperature thermal solar power for electricity generation and thermal processing

Further topics:

- the possibilities and implications of renewable energy imports over long distances  
like e.g. from North Africa to Europe
- the necessities for storage technologies and the problems associated
- cogeneration concepts and absorption cooling

---

## Literatur

Lecture manuscript, handouts

- Bent Sørensen: Renewable Energy; 3rd Edition, Elsevier
- Kaltschmitt, Martin (Ed.) Renewable energy :technology, economics and environment, Berlin ; Heidelberg [u.a.] : Springer, 2007
- M. Kleemann, M. Meliß: Regenerative Energiequellen, Springer, 1993
- Bubenzer, Achim [Ed.]: Photovoltaics guidebook for decision makers: technological status and potential role in energy economy Berlin ; Heidelberg [u.a.] : Springer, 2003- Luque, Antonio [Ed.]: Handbook of photovoltaic science and engineering, New York ; Chichester : Wiley, 2003
- Messenger, Roger ; Ventre, Jerry: Photovoltaic systems engineering Boca Raton [u.a.] : CRC Press, 2000
- Goetzberger, Adolf ; Hoffmann, Volker: Photovoltaic solar energy generation Berlin ; Heidelberg [u.a.] : Springer, 2005
- A. Goetzberger, V. Wittwer: Sonnenenergie Thermische Nutzung, Teubner
- Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets; OECD / IEA 2002
- Introduction to Hydro Energy Systems; Hermann-Josef Wagner and Jyotirmay Mathur Springer Berlin Heidelberg 2011
- Small Hydropower Systems; DOE/GO-102001-1173 FS217 July 2001

---

## Lehr- und Lernformen

Lecture "Renewable Energy Use and Distributed Energy Technologies", 3 SWS  
Exercise "Renewable Energy Use and Distributed Energy Technologies", 1 SWS  
Laboratory "Renewable Energy Use and Distributed Energy Technologies", 1 SWS

---

## Arbeitsaufwand

Active Time: 82 h

Preparation and Evaluation: 73 h

Self-Study: 55 h

Sum: 210 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt einen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

---

# RF and Microwave Communication Systems

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871725

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module

---

**Vorkenntnisse** Module "RF & Microwave Engineering"

---

**Lernergebnisse** After successful completion of this module, students are able to describe the principles of radio communications and of propagation of radio waves. They know how to apply methods of RF & microwave engineering to design and to verify systems used in radio communications. They are able to design microwave systems.

---

**Inhalt** This lecture introduces students into various aspects of radio communications. Wireless systems are decomposed into subsystems as transmitters, radio channels, and receivers. These systems are systematically analyzed and subdivided into further subsystems. The objective of this lecture is to provide all necessary tools for successfully analyzing existing radiocommunication systems, and for designing new ones. The lecture covers in particular system aspects of:

- transmission line types,
- passive distributed circuit elements,
- frequency conversion and mixers,
- oscillators, PLL
- signal perturbations by mixer noise and phase noise,
- power amplification (small and large signal behavior and intermodulation),

- receiver, transmitter, transponder,
- communication system calculations, link budget.

---

**Literatur**                    - Lecture handout  
                                     - Text books: see Lecture handout

---

**Lehr- und Lernformen**                    Lecture "RF & Microwave Communication Systems", 2 SWS  
    Exercise "RF & Microwave Communication Systems", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**                    Active Time: 45 h  
    Preparation and Evaluation: 45 h  
    Self-Study: 30 h  
    Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung**                    Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**                    -

---

# Satellite Communications and Navigation

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870441

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Uwe-Carsten Fiebig

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Uwe-Carsten Fiebig

---

**Einordnung in die Studiengänge**

Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module

Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and SystemTechnology

Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and EnergyTechnology

Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering

Information Systems Technology, M.Sc., Optional Module

Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module

---

**Vorkenntnisse** Communications Engineering

---

**Lernergebnisse**

The students are able to understand the various types of satellite orbits: from the Earth-satellite geometry the students can determine all parameters which are relevant for satellite communications such as coverage, distance, visibility of the satellite, elevation angle, and Doppler effects.

The students get an idea about satellite installation, space conditions, and orbital perturbations and, thus, understand all major differences between satellite communications and terrestrial mobile radio.

Link budgets are in the very focus of the lecture. The students are able to calculate complete link budgets for satellite communications for both uplink and downlink, for station-to-station links and also for interplanetary links. The students assess the findings of link budgets; they can design satellite communications systems encompassing transmit power, antenna size, bit rate constraints, frequency issues, link margins and the like. The students analyse the

---

influence of communication parameters on the link budget and point out the consequences on the system design if the requirements on the communications link are changed.

Operational satellite communication systems are treated in the lecture. The students

understand their basic concepts and are able to identify their advantages and drawbacks.

The final subject is satellite navigation. The students understand the basic concept of satellite navigation. They can describe the challenges satellite navigation is faced with and apply methods and techniques to cope with this challenges.

The students can explain the various components of satellite navigation systems and understand concepts to further improve the performance of such systems.

---

**Inhalt** The lecture treats both communication aspects of modern satellite communications systems and satellite navigation. The topics are: Satellite orbits (Kepler's laws, Earth-satellite geometry, types of orbits), satellite installation into the target orbit, space conditions, satellite communications payload, modulation and multiple access for satellite communications, adjacent channel interference, intermodulation, satellite channel (frequency bands, atmospheric effects, fade margin design), link budgets (description of all parameters which are required to calculate the signal-to-noise ratio at the receiver; examples of link budgets), mobile satellite communication systems (Iridium, Globalstar) and satellite navigation (principle, navigation equation, error budget, GPS, Galileo)

---

**Literatur** - G. Maral and M. Bousquet: Satellite Communications System, Wiley

---

**Lehr- und Lernformen** Lecture "Satellite Communications", 2 SWS  
Exercise "Satellite Communications", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Active Time: 36 h  
Preparation and Evaluation: 36 h  
Self-Study: 48 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

# Semiconductor Sensors (Halbleitersensoren)

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870450

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher

---

**Dozent(en)** Dr. Alberto Pasquarelli

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Electrical Engineering, M.Sc., Compulsory Subject Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications Technology, M.Sc., Optional Technical Module, Microelectronics  
Embedded Systems, M.Sc., Application Subject, Mixed Signal Systems

---

**Vorkenntnisse** Halbleiterbauelemente

---

**Lernergebnisse** The advances in microelectronics and micro electro-mechanical systems (MEMS) have revolutionized the scenario of sensor technology. Thanks to new materials and processes, traditional bulky, slow and expensive sensor systems could be replaced by miniaturized and integrated smart sensors based on semiconductors. With the help of semiconductor sensors various application areas have been developed. In everyday life we encounter them, for example in the form of navigation and control systems in vehicles or as microphones, accelerometers, compass and cameras in mobile phones and tablets. In addition to the automotive industry and the mobile communications, semiconductor sensors are used in many other areas, for example in health care to record the blood pressure or body temperature in real time.

The students describe and classify principles of operation, technological implementations and application areas of different sensors. They recognize and discuss the various physical phenomena in semiconductors, which are used for the detection of physical quantities and their conversion to electrical signals. They know various semiconductor materials suitable for the production of sensors, analyze the peculiarities of each one, explain and predict their response under different conditions and can calculate sensor examples for different measurement needs. The students can design a semiconductor sensor choosing the right material among several semiconductors. They are able to analyze a measurement

problem, compare appropriate sensing techniques and develop their own solution. Doing this they can properly dimension the sensor unit to meet the design specifications.

---

**Inhalt** Semiconductor-based detection methods for:  
- radiation (ionizing and non-ionizing)  
- magnetic fields  
- mechanical forces  
- temperature  
Basics on operational amplifiers  
Basics on MST (micro system technology)  
Basics on MEMS (micro electro-mechanical systems)

---

**Literatur** Lecture Notes

For in-depth study, following books (University library) are recommended:  
Pierret: Semiconductor Fundamentals - QC 176.8.S4/1989 P  
Pierret: Field effect devices - TK 7871.95/1990 P  
Michalski: Temperature measurement - I: QC 291/1991 M  
Glück: MEMS in der Mikrosystemtechnik - T99: TK 7875/2005 G  
Hilleringmann: Mikrosystemtechnik - T99: TK 7875/2006 H  
Middelhoek: Silicon sensors - I: T 50/1989 M  
Schaumburg: Sensoren - T99: T 50/1992 Sc  
Ristic: Sensor technology and devices - I: T 50/1994 R  
Sze: Semiconductor sensors - T99: T 50/1994 Sc  
Gardner, Julian W. – Microsensors - I: T 50/1995 G  
Fraden, Jacob - Handbook of modern sensors – I: T 50/1993 F

---

**Lehr- und Lernformen** Lecture "Semiconductor Sensors", 3 SWS  
Exercise "Semiconductor Sensors", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Active Time: 45 h  
Preparation and Evaluation: 105 h  
Sum: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** Master thesis in the area of semiconductor sensors.

---

# Signal Theory

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872272

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik MSc, Kernmodul  
Informationssystemtechnik MSc, Kernmodul  
Communications Technology MSc, Wahlpflichtmodul

---

**Vorkenntnisse** recommended  
- signals and systems (discrete and continuous-time signals and systems)  
- fundamentals of random variables and random processes (e.g., modul "Signale und Systeme")

---

**Lernergebnisse** The students will be able to operate with stochastic and deterministic signals. The concept of real and complex-valued stochastic processes and its characteristic quantities can be explained and applied. Spectral representations of processes can be formulated and discriminated. The students will be able to assess and devise mean-square estimators and appraise the fundamental limits. They can explain the characterization and approximation of deterministic signals. The students can operate with the description of signals in a signal space and are able to identify suited bases. Signals with structure can be characterized and categorized. The students can assess and design adequate reconstruction algorithm. The principles of localization and uncertainty can be explained and justified in the time-frequency plane. Adopted transformations can be assessed and discriminated.

---

**Inhalt** Part I: Stochastic Signals  
\* The Concept of Stochastic Processes  
- basic concepts  
- characteristic quantities  
- complex processes (equivalent baseband signals)

---

- \* Spectral Representation and Spectral Estimation
  - innovations
  - Fourier and Karhunen-Loeve expansion
  - spectral estimation / periodogram
  - parameter estimation
- \* Mean-Square Estimation
  - prediction and filtering
  - unbiased estimation
  - Cramer-Rao bound

Part II: Deterministic Signals

- \* Approximation of Signals
  - sampling and equivalent sequences
  - series expansion
  - signal spaces and bases
  - signals with structure / low-dimensional bases
  - compressed sensing
- \* Localization and Uncertainty
  - time-frequency plane
  - local (short-time) Fourier Spectrum / Wavelets

**Literatur**

- Y.C. Eldar, G. Kutyniok (Ed.): Compressed Sensing -- Theory and Applications. Cambridge University Press, May 2012.
- R. Gallager: Stochastic Processes -- Theory for Applications. Cambridge University Press, Dec. 2013.
- R.M. Gray, L.D. Davisson: An Introduction to Statistical Signal Processing. Cambridge University Press, Feb. 2010.
- T. Kailath, A.H. Sayed, B. Hassibi: Linear Estimation. Prentice Hall, 2000.
- S. Kay: Fundamentals of Statistical Signal Processing, Vol. I — Estimation Theory. Prentice Hall, 1993.
- D. Manolakis, V.K. Ingle, Applied Digital Signal Processing -- Theory and Practice. Cambridge University Press, Feb. 2012.
- A. Papoulis: Signal Analysis. McGraw-Hill, 1977.
- A. Papoulis, S.U. Pillai: Probability, Random Variables and Stochastic Processes. McGraw-Hill, 4th ed., 2002.
- H.L. Van Trees: Detection, Estimation and Modulation Theory, Parts I and III. Wiley, 1968/2001.
- M. Vetterli, J. Kovacevic, V.K. Goyal: Foundations of Signal Processing. Cambridge University Press, June 2014.

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Signal Theory", 3 SWS  
 Exercise "Signal Theory", 1 SWS

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 50 h  
 Preparation and Evaluation: 80 h  
 Self-Study: 50 h  
 Sum: 180 h

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für**

td

---

# Systemtheorie

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870411

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Allgemeine Elektrotechnik  
  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Pflichtmodul

---

**Vorkenntnisse**

- Grundkenntnisse der höheren Mathematik (insbesondere lineare Algebra)
- Beschreibung linearer, zeitinvarianter Systeme (LTI-Systeme) im Frequenzbereich, Laplace-Transformation, Analyse von LTI-Systemen (Bode-/Nyquist-Diagramm)
- Grundlagen der Regelungstechnik im Frequenzbereich, Entwurfsverfahren für lineare zeitinvariante Systeme im Frequenzbereich

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden sind in der Lage, lineare zeitkontinuierliche Mehrgrößensysteme im Zeitbereich zu untersuchen und entsprechend ihrer systemtheoretischen Eigenschaften einzuordnen. Sie können Problemstellungen der linearen Regelungstechnik analysieren sowie geeignete lineare Zustandsregelungen mit gewünschtem Stör- und Führungsverhalten entwerfen. Des Weiteren kennen die Studenten nach Absolvieren der Veranstaltung Methoden zum Entwurf von Zustandsbeobachtern und linearen Folgeregelungen und beherrschen deren Einsatz.

---

**Inhalt**

- Beschreibung linearer zeitkontinuierlicher Systeme im Zustandsraum
- Linearisierung nichtlinearer Systeme
- Allgemeine Lösung der linearen Zustandsdifferentialgleichung
- Strukturelle Eigenschaften linearer zeitkontinuierlicher Mehrgrößensysteme im

---

- Zustandsraum: Stabilität, Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit
- Normalformen und Zustandstransformationen
- Zustandsreglersynthese für Ein- und Mehrgrößensysteme: Vorfilter, Polvorgabe, Ein-/Ausgangsentkopplung, Riccati-Regler (LQR)
- Beobachterentwurf und Separationsprinzip
- Störmodelle und Entwurf von Störbeobachtern
- Lineare asymptotische Folgeregelung durch Ein-/Ausgangsentkopplung
- Zwei-Freiheitsgrade-Regelung mit linearer flachheitsbasierter Vorsteuerung

**Literatur**

- Unbehauen, H.: Regelungstechnik II. 8 Auflage, Vieweg-Verlag, Braunschweig, 2000
- Föllinger, O.; Franke, D.: Einführung in die Zustandsbeschreibung dynamischer Systeme mit einer Anleitung zur Matrizenrechnung. Oldenbourg-Verlag, München, 1982
- Föllinger, O.: Regelungstechnik. Hüthig-Verlag, Heidelberg, 1992
- Freund, E.: Regelungssysteme im Zustandsraum I. Oldenbourg-Verlag, München, 1987
- Freund, E.: Regelungssysteme im Zustandsraum II. Oldenbourg-Verlag, München, 1987
- Geering, H. P.: Regelungstechnik: Mathematische Grundlagen, Entwurfsmethoden, Beispiele. 6. Aufl., Springer-Verlag, 2004
- Kailath, T.: Linear Systems. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1980
- Lunze, J.: Regelungstechnik 1: Systemtheoretische Grundlagen , Analyse und Entwurf einschleifiger Regelungen. 4 Auflage Springer-Verlag, Berlin, 2006
- F- Lunze, J.: Regelungstechnik 2: Mehrgrößensysteme, Digitale Regelung. Springer-Verlag, Berlin, 2004
- Rugh, W.J.: Linear System Theory. 2. Aufl., Prentice Hall, Upper Saddle River, 1996
- Schulz, R.: Regelungstechnik: Mehrgrößenregelung - Digitale Regelungstechnik
- Fuzzy-Regelung, Band 2. Oldenbourg-Verlag, München, 2002

**Lehr- und Lernformen**

Vorlesung "Systemtheorie", 3 SWS (V)  
 Übung "Systemtheorie", 1 SWS (Ü)  
 Tutorium "Systemtheorie" unter Nutzung von Matlab, 1 SWS (T)

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 70 h  
 Vor- und Nachbereitung: 100 h  
 Selbststudium: 40 h  
 Summe: 210 h

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

**Grundlage für**

Vorlesung Digitale Regelungen  
 Vorlesung Nichtlineare Regelungen  
 Praktikum Regelungstechnik

# Technology for Micro- and Nanostructures

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870458

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Peter Unger

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Peter Unger

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** - Bachelor  
- Vordiplom

---

**Lernergebnisse** The students can describe and explain the different lithography methods like optical, e-beam, and x-ray lithography. For a given lithographic problem, they are able to select a suitable exposure process and to choose a proper resist material. The students understand the physics of low-pressure non-equilibrium gas discharges, can give examples of commonly used process techniques using this type of plasma, and are able to sketch the construction of typical plasma-etching and plasma-deposition systems. The students are able to explain the physics of dry-etching and vacuum deposition processes used in semiconductor and thin-film technology.

---

**Inhalt** At the beginning of the course, the basic technological processes for lithography and pattern transfer techniques are discussed. As applications of these technologies, fabrication processes are presented like CMOS and III-V technology, micromechanics, magnetic thin-film heads, flat-panel displays, micro optics, x-ray optics and quantum-effect electronic devices. The lectures are accompanied by exercises, where important original publications will be discussed and hands-on experiments in the clean room will be performed.

---

Main Topics:

- Resists
- Optical Lithography
- Electron-Beam Lithography
- X-Ray Lithography
- Wet-Chemical and Dry Etching Techniques
- Film Deposition Processes
- Micromechanics
- Thin-Film Technology
- Nanometer Structures Technology

---

**Literatur**

- Marc J. Madou, Fundamentals of Microfabrication, 2nd edition, CRC Press, Boca Raton, 2002
- Henry I. Smith, Submicron- and nanometer-structures technology, 2nd edition, NanoStructures Press, 437 Peakham Road, Sudbury, MA 01776, USA, 1994
- L.F. Thompson, C.G. Willson, and M.J. Bowden, Introduction to Microlithography, 2nd edition, ACS Professional Reference Book, American Chemical Society, 1994
- Brian Chapman, Glow Discharge Processes – Sputtering and Plasma Etching, John Wiley and Sons, New York, 1980
- R.J. Shul, S.J. Pearton (Editors), Handbook of Advanced Plasma Processing Techniques, Springer-Verlag, Heidelberg, 2000

---

**Lehr- und Lernformen**

Lecture “Technology for Micro- and Nanostructures”, 2 SWS  
Exercise “Technology for Micro- and Nanostructures”, 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Preparation and Evaluation: 45 h  
Active Time: 75 h  
Sum: 120 h

---

**Bewertungsmethode**

Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus

---

**Notenbildung**

Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung

---

**Grundlage für**

-

# Theory of Digital Networks

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870429

---

**ECTS-Punkte** 8

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Martin Bossert

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Elective Module, Communications Technology, M.Sc., Compulsory Subject Module, Communications Engineering  
Embedded Systems, M.Sc., Application Subject, Communication

---

**Vorkenntnisse** Bachelor

---

**Lernergebnisse** Digital systems consist of various protocols based on elementary functions for multiple access (free for all, perfectly scheduled), reliable data transmission (automatic repeat request, ARQ), routing, and queueing theory. After the lecture, the students are able to analyze and compare multiple access protocols and determine their main parameters like throughput and average waiting time. These methods can be used by the students to evaluate novel protocols even not treated in this module and design and evaluate stabilization and collision resolution methods. Also for protocols for reliable data transmission the parameters throughput and average delay (latency) can be derived and categorized. Understanding and applying the mathematical tools for the analysis of Markov chains allows the students to classify queueing systems and derive and explain the corresponding performance parameters. Students are enabled to compute the shortest paths on graphs for given network topologies using the Bellman-Ford algorithm as well as the Dijkstra algorithm. Furthermore, they can explain the differences.

---

**Inhalt** The lecture describes and analyzes the basic functions of protocols and explains the most important algorithms and methods, which are used in communication systems. The exercises complement the lecture by applying the theoretic knowledge to special problems.

- Concepts and definitions of digital communication networks
- Hierarchical layer structure of networks
- Peer-to-peer layer communication and primitives for inter layer communication
- Data transmission from point-to-point
- Synchronization aspects (bit, frame, training sequence, preamble, etc.)
- Multi-access protocols
- ALOHA protocols (slotted, unslotted) stabilization and collision resolution strategies
- Carrier-Sensing (with and without collision detection)
- Techniques for reliable data transmission (ARQ- and hybrid-ARQ techniques) throughput and latency
- Routing algorithms, flowgraphs, shortest path routing
- Markov-chains
- Queuing theory with Kendall notation  $M/M/1$ ,  $M/M/m$  and the according loss systems
- Erlang B and C formulas
- Lossless and lossy queuing systems
- Project orientated lab: ARQ, simulation of queuing systems (Markov Chains)

---

**Literatur**

- Bossert, M., Breitbach, M., Digitale Netze, Teubner Verlag, 1999
- Bertsekas, D., Gallager, R., Data Networks, Prentice Hall, 1992
- Tanenbaum, A., Computer Networks, Pearson, 2011

---

**Lehr- und Lernformen**

Lecture "Theory of Digital Networks", 3 SWS  
Exercise "Theory of Digital Networks", 2 SWS  
Project "Theory of Digital Networks", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 90 h  
Preparation and Evaluation: 80 h  
Self-Study: 70 h  
Sum: 240 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** -

# Using the Advanced Design System (ADS) in Electronic Design

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804872098

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** English

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Dr.-Ing. Christoph Bromberger

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Christoph Bromberger

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology  
Communications Technology, M.Sc., Elective Module, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** Bachelor-Level Analog Design Skills  
Some understanding of S-parameters is helpful

---

**Lernergebnisse** The students gain an in-depth understanding of a significant analog simulation tool. They demonstrate their abilities to set up as well as to stream-line circuit simulations. Attendees employ ADS in high-frequency layout. They are used to ADS data structures and recognize ways to fully exploit their composition. Participants regularly scrutinize and critically judge their simulation results.

---

**Inhalt**

- The ADS project structure
- Setting up, performing and simplifying schematics simulations
- Using the data display
- Understanding ADS data structures
- Measurement Equations
- Optimizing circuits with the help of ADS
- (Semi-) automatic layout generation
- 2d electromagnetic simulation
- Exporting the layout

---

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- ADS handbooks and tutorials</li><li>- Aufsatz: <a href="http://edownload.soco.agilent.com/eedl/ads/2012\_08/zip/ADS2012PDF.zip">http://edownload.soco.agilent.com/eedl/ads/2012\_08/zip/ADS2012PDF.zip</a></li><li>- A script is available for this lecture</li></ul>
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Lecture "Using the Advanced Design System (ADS) in Electronic Design", 2 SWS Exercise "Using the Advanced Design System (ADS) in Electronic Design", 1 SWS
<b>Arbeitsaufwand</b>	Lectures: 10 h Exercises: 30 h Self-Study: 20 h Homework: 30 h Exam Preparation and Evaluation: 30 h Sum: 120 h
<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
<b>Grundlage für</b>	Masters Thesis in the area of biosensors.

---

# Videotechnologie

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870430

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Albrecht Rothermel

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Albrecht Rothermel

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul (Ing)

---

**Vorkenntnisse** Signalverarbeitung (Abtastung, DFT, DCT, Filter-Design)

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden stellen das Videosignal als dreidimensionales Signal dar, und zeigen die unterschiedlichen Randbedingungen in den verschiedenen Dimensionen auf. Sie setzen die Verarbeitung in horizontaler, vertikaler und zeitlicher Richtung in Beziehung zum Shannonschen Abtasttheorem, zur historischen Entwicklung und zur Wahrnehmungsphysiologie des Menschen. Sie erläutern den Zusammenhang des Nipkow-Apparates mit der modernen Bildverarbeitung. Sie ordnen die Zeilensprungabtastung in den mehrdimensionalen Frequenzbereich ein. Sie unterscheiden die Umsetzung von 24Hz Kinofilm in die 50Hz und 60Hz Systeme. Sie erkennen die Auswirkungen von Abtastfehlern und von Bandbegrenzungen separat je nach Richtung bei der Bildwiedergabe. Sie illustrieren den Kell-Faktor im Verhältnis zum Abtasttheorem. Sie stellen das Videosignal sowohl im eindimensionalen wie auch im dreidimensionalen Bildbereich dar, und beschreiben genau die Zusammenhänge, und damit die Entstehung des Linienspektrums. Sie beschreiben die Zusammenhänge zwischen den Größen Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte über die physikalischen Größen und über Formeln. Sie stellen die Leuchtdichte einer Leinwand mit Projektor fest wenn der Lichtstrom des Projektors gegeben ist. Sie berechnen die Effizienz von idealen weißen Strahlern und vom schwarzen

Strahler für das Tagessehen und für das Nachtsehen. Sie definieren die Anforderungen an die Farbfilter eines Kamerasystems für die ideale Farbproduktion und stellen fest, dass die Normspektralwertkurven nicht notwendig sind. Sie bestimmen die Normspektralwertkurven indirekt über das Gleichheitsverfahren. Sie stellen die Vorgänge beim Farbsehen über die mathematische Vektorprojektion dar, skizzieren die physiologischen Eigenschaften der Farbtafel mittels McAdam Ellipsen und bestimmen eine innovative Farbtafel, die auf den Augen-Empfindlichkeitskurven basiert. Sie klassifizieren die Farbkameras in Ein-Chip und Drei-Chip, CMOS und CCD Systeme und bewerten sie mit ihren Vor- und Nachteilen. Zur Klassifikation verwenden sie Ortsauflösung, Farbqualität und Dynamikbereich. Sie beschreiben den Einfluss der Pixel-Größe auf den Frequenzgang exakt quantitativ. Sie skizzieren die alte zeitsequenzielle Farbübertragungstechnik aus dem Jahre 1950 und benennen den Zusammenhang mit modernen Farb-Reproduktionstechniken. Sie identifizieren die Funktion und die Vor- und Nachteile der FBAS-Video-Übertragungstechnik. Zur Digitalisierung von Videosignalen finden sie verschiedene Taktfrequenzen mit ihren Vor- und Nachteilen, können diese Taktsysteme erzeugen, verwenden dazu PLLs die sie optimieren. Sie skizzieren die Auswirkungen von Vor-Filtern und den Einfluss der Wahl der Wortbreite. Sie beschreiben Szenarios, in denen sich die Wortbreite innerhalb der digitalen Signalverarbeitung signifikant verändern muss. Sie bauen Phasenvergleicher, Schleifenfilter und NCO für eine rein digitale PLL aus diskreten Gattern auf. Sie kennen die Notwendigkeit digitaler Bilddatenreduktion, und erklären den Unterschied zwischen Redundanz und Irrelevanz. Sie verwenden Entropiekodierer und erkennen deren Grenzen und die Notwendigkeit, prädiktiver oder transformatorischer Vorverarbeitung. Sie ordnen die Prädiktion in die Transformationen ein. Sie erklären die Transformationen über eine Dekorrelation zur Verringerung der Entropie des Datenstroms für Einzel-Ereignisse. Sie verwenden Quantisierer zur Irrelevanz-Reduktion, und verstehen die Fehler-Rückführung der DPCM als Färbung des Quantisierungsrauschens. Sie ordnen MPEG1, 2, H.264 AVC und HEVC historisch ein und identifizieren die Kern-Funktionalitäten. Sie listen die unterschiedlichen Codier-Effizienzen und erkennen die typischen Codier Artefakte. Sie stellen die fundamentalen Eigenschaften der Wavelet-Transformation und der MRC gegenüber. Sie beschreiben Bildwiedergabetechniken wie LCD, Plasma, Oled und DMD über die Technologien und ihren Einfluss auf die Wiedergabequalität. Sie zeigen Beispiele für die Grenzen der "Proscan-Conversion und der Bildraten-Erhöhung, und erläutern die Problematik der Wiedergabe bewegter Objekte. Sie zeigen auf, dass das klassische Abtasttheorem (z. B. bei Laufschriften) massiv verletzt werden muss.

---

## Inhalt

- Geschichte der Videosignalverarbeitung
- Abtastung in mehreren Dimensionen
- Halbbildverfahren
- Definitionen zu Lichtstärke und -intensität
- Farbmetriken
- Menschliche Farbwahrnehmung
- Kamera Technologie: CCD und CMOS
- Display-technologie: LCD, Plasma, DMD
- Digitale Video-Signalverarbeitung: Taktsysteme, Contouring, Rauschverhalten von Videosignalen, optimale Tiefpassfilter für Videosignale
- Beispiele: Digitale PLL, Notch-Filter

- Progressive und 100 Hz Umwandlung
- Entropie-, prädiktive-, transformation- und hybrid Codierung

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fernsehtechnik, Rudolf Mäusl, 1991, 243 S. geb., ISBN 3-7785-1449-0, Reihe Telekommunikation Band 8, Hüthig, Heidelberg</li><li>- Fernsehtechnik, Broder Wendland Band I 1988, 475 S., ISBN 3-7785-1487-3 Band II 1991, 521 S., ISBN 3-7785-1488-1 Reihe ELTEX Studentexte Elektrotechnik, Hüthig, Heidelberg</li><li>- Digital Television, Edited by C. P. Sandbank, John Wiley &amp; Sons 1990, ISBN 0 471 92360 5</li><li>- Fernsehtechnik im Wandel, Helmut Schönfelder, Springer Verlag 1996, ISBN 3 540 58556 7</li><li>- Digitale Videotechnik, Ulrich Schmidt, Franzis-Verlag, Feldkirch, ISBN 3-7723-5322-3</li><li>- Wavelets, Eine Einführung für Ingenieure, W. Bäni, Oldenburg-Verlag, München, 2002, ISBN -486-25427</li><li>- Digitale Fernsehtechnik, Ulrich Reimers, Springer, Berlin, ISBN 3-540-60945</li><li>- Digital Television, H. Benoît, Wiley, London, 1996, ISBN 0-340-69190-5</li><li>- Professionelle Videotechnik, U. Schmidt, Springer, 2003, ISBN 3-540-43974-9</li></ul>
------------------	---

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Videotechnologie", 2 SWS Übung "Videotechnologie", 1 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 42 h Vor- und Nachbereitung: 78 h Summe: 120 h
-----------------------	---

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt keinen Leistungsnachweis voraus.
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	Master-Arbeit
----------------------	---------------

---

# Werkstoffe der Elektrotechnik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804870419

---

**ECTS-Punkte** 7

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht  
Dr. Kai Brühne

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik

---

**Vorkenntnisse** Kenntnisse und Kompetenzen der Module:  
Grundlagen der Elektrotechnik I, II  
Mathematik I – III (insbesondere Matrizen, Vektoranalysis)  
Analoge Schaltungen (insbesondere Vierpolparameter)

---

**Lernergebnisse** Nach Abschluss dieses Moduls können die Studenten den Aufbau von Festkörpern einschließlich ihrer atomaren Bindung beschreiben. Sie können die Ursachen und die Eigenschaften der elektrischen Leitung von Isolatoren, Halbleitern und Leitern miteinander vergleichen und klassifizieren. Die physikalischen Grundlagen der Magnetismus können sie erklären und die daraus folgenden Ausprägungsformen des Magnetismus in Materie (Diamagnetismus, Paramagnetismus, Ferromagnetismus, Ferrimagnetismus, Antiferromagnetismus) ableiten und kategorisieren. Die Studenten können die Ursachen der thermischen Eigenschaften von Materialien identifizieren, verschiedene Modelle der Temperaturabhängigkeit der Wärmekapazität bewerten und deren Vorhersagen interpretieren sowie die Wärmeleitfähigkeit berechnen und ihren Zusammenhang mit der elektrischen Leitfähigkeit formulieren. Die Studierenden können die unterschiedlichen Ausprägungen der Diffusion einschätzen und ihren Einfluss auf die Diffusion in Legierungen vorhersagen. Durch die Zusammenfassung dieser Kompetenzen können die Studenten die mannigfaltigen Anwendungen (z.B. Mikroelektronik, Bauelemente in Sensorik und Aktorik) identifizieren, geeignete Materialien dafür auswählen und evaluieren.

---

## Inhalt

Hier soll ein Überblick über die fachlichen Inhalte gegeben werden. Das grundlegende Verständnis der Herstellung und Struktur von Werkstoffen und die zielgerichtete Optimierung der Eigenschaften und Anwendungen, die Voraussetzung für eine Verbesserung der Einsatzfähigkeit und Zuverlässigkeit von Bauelementen und Devices, vor allem im Hinblick auf eine zunehmende Miniaturisierung sind. Einführend wird der Festkörper beschrieben. Behandelt werden die Bindungsarten und der Aufbau der Werkstoffe sowie das Modell freier Elektronen im Festkörper und das Bändermodell für Elektronen und Phononen. Eingebunden in eine allgemeinere Darstellung zur Kontrolle der Mikro- und Nanostruktur, der Phasenstabilität (Phasendiagramme) und Grenzflächenstabilität bei Phasenumwandlungen werden im folgenden die verschiedenen relevanten Eigenschaften beschrieben. Die elektrischen Eigenschaften des Festkörpers werden diskutiert. Hierzu werden die Gleichstromleitfähigkeit, die Wechselstromleitfähigkeit, thermoelektrische Effekte und Supraleitung erörtert. Die Anwendung der Werkstoffe für optische Funktionen gewinnt immer mehr an Bedeutung in der Elektrotechnik. Metall-, Glas- und Kristalloptik sind die Themen, die bei den optischen Eigenschaften des Festkörpers dargestellt werden.

Weiterhin diskutiert werden die physikalischen Grundlagen und die Anwendung des Magnetismus (Magnetismus im festen Zustand, Dia-, Para-, Ferromagnetismus, Anti-Ferromagnetismus. Die spezifische Wärme, thermische Ausdehnung und thermische Leitfähigkeit gehören zu den thermischen Eigenschaften des Festkörpers, die im folgenden Kapitel besprochen werden. Die Miniaturisierung der elektronischen Bauelemente erreicht immer kleinere Dimensionen. Diffusionsprozesse sind die Hauptmechanismen, die zur Degradierung bzw. Alterung und Versagen der Bauelemente führen. Der Materialtransport ist ein wichtiges Thema dieser Vorlesung, auch im Hinblick auf die Hochtemperaturelektronik (harsh environment), woran die Diffusionsgesetze, atomare Mechanismen der Diffusion, Diffusion in Legierungen, Elektro- und Thermotransport und Atomtransport in Halbleitern, Metallen und Isolatoren diskutiert werden.

Anschließend beschäftigt sich die Vorlesung mit der Anwendung der Werkstoffe, besonders im Bereich der Mikroelektronik. Zukünftige und innovative Werkstoffanwendungen (Sensorik, Akustik, Nanotechnologie) bilden den Abschluss.

Beschreibung des Festkörpers:

- Bindungsarten und Aufbau der Werkstoffe
- Atomare Struktur und Defekte
- Modell freier Elektronen im Festkörper
- Bändermodell für Elektronen und Phononen

Elektrische Eigenschaften:

- Gleichstromleitfähigkeit
- Wechselstromleitfähigkeit
- Thermoelektrische Effekte
- Supraleitung

Optische Eigenschaften:

- Optische Konstanten und Metalloptik
- Glasoptik
- Kristalloptik

Magnetische Eigenschaften:

- Physikalische Grundlagen
- Freie Atome und Elektronengas
- Magnetismus im festen Zustand
- Ferromagnetismus
- Antiferromagnetismus usw.

Thermische Eigenschaften:

- Spezifische Wärme
- Thermische Ausdehnung
- Thermische Leitfähigkeit

- Materietransport:
- Diffusionsgesetze
  - Atomare Mechanismen der Diffusion
  - Diffusion in Legierungen
  - Elektro- und Thermotransport
  - Diffusion in keramischen Stoffen
  - Anwendungen (Phasenübergänge, Grenzflächenstabilität)
- Anwendungen:
- Dünne Schichten und Mikroelektronik
  - Bauelemente und Devices in der Sensorik, Aktorik
  - Ausblick in die Problematik der Nanotechnologie

---

<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Einführung in die Festkörperphysik, C. Kittel, Oldenbourg 1989</li><li>- Werkstoffe für die Elektrotechnik: - Mikrophysik, Struktur, Eigenschaften - G. Fasching, Springer 2005</li><li>- Metal Based Thin Films for Electronics, K. Wetzig, C.M. Schneider, VCH-Wiley 2003</li><li>- Electronic Materials Science: For Integrated Circuits in Si and GaAs, J. W. Mayer, S.S. Lau, Macmillan 1990</li><li>- Physik der Nanostrukturen, Forschungszentrum Jülich, 1998</li><li>- The Micro-/Nano Interface, H.-J. Fecht und M. Werner, VCH-Wiley 2004</li><li>- Supraleitung, W. Buckel und R. Kleiner, VCH-Wiley 2004</li></ul>
------------------	---

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Vorlesung "Werkstoffe der Elektrotechnik", 3 SWS Übung "Werkstoffe der Elektrotechnik", 1 SWS Labor "Werkstoffe der Elektrotechnik", 1 SWS
-----------------------------	--

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Präsenzzeit: 68 h Vor- und Nachbereitung: 92 h Selbststudium: 50 h Summe: 210 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Teilnahme an Vorlesungen, Übungen und Praktikum. I.d.R. mündliche Prüfung, ansonsten schriftliche 90 minütige Prüfung. Voraussetzung für die Prüfungszulassung ist die erfolgreiche Durchführung des Praktikums.
--------------------------	--

---

<b>Notenbildung</b>	Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Prüfung.
---------------------	--

---

<b>Grundlage für</b>	keine Angaben
----------------------	---------------

---

# Werkstoffe der Energietechnik

Modul zugeordnet zu Vertiefungsmodulen Elektrotechnik

**Code** 8804871321

---

**ECTS-Punkte** 4

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Hans-Jörg Fecht  
Dr.-Ing. Kai Brühne

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Advanced Materials, M.Sc., Wahlpflichtmodul  
  
Master Chemie, Studienprogramm Chemie, Wahlpflicht oder Vertiefung (Energietechnik), 1.-3. Fachsemester  
  
Master Wirtschaftskemie, Vertiefung (Energietechnik), 1.-3. Fachsemester

---

**Vorkenntnisse** **Formale Voraussetzungen:** sind der jeweiligen Fachspezifischen Studien- und Prüfungsordnung zu entnehmen

**Empfohlene inhaltliche Vorkenntnisse:**

- Grundlagen der Energietechnik (Bachelor-Module der Energietechnik) sowie:
  - Integral- und Differenzialrechnung
  - komplexe Zahlen
  - Vektorrechnungen
  - Differenzialgleichungen
- 

**Lernergebnisse** Studierende, die dieses Modul erfolgreich absolviert haben, können die Eigenschaften von Materialien im thermischen Gleichgewicht (beispielsweise Struktureigenschaften, elektrische und thermische Eigenschaften) beschreiben und analysieren. Sie können Transportphänomene in Materialien (Ladungstransport, Wärmetransport, Teilchentransport) berechnen und bewerten. Die Studenten können Konzepte der Thermodynamik anwenden, Zustandsänderungen beurteilen,

---

Phasendiagramme konstruieren sowie Phasenübergänge 1. Art und 2. Art unterscheiden. Im Praktikum lernen die Studenten an ausgewählten Beispielen, wichtige Aussagen der Vorlesung durch Experimente zu validieren. Somit können die Studenten Konzepte und Anwendungen der Sensorik, Energiewandlung und -speicherung bis hinein in den Bereich der Nanotechnologie evaluieren, entwickeln und planen.

---

## Inhalt

Werkstoffe mit gezielt optimierten Eigenschaften haben eine Querschnittsfunktion und spielen eine entscheidende Rolle in der Technologie, und damit für den ökonomischen Fortschritt unter ökologischen Randbedingungen. Während in der Vorlesung „Werkstoffe der Elektrotechnik“ im wesentlichen der isotherme Fall behandelt wurde, steht hier verstärkt das thermische Gleichgewicht im Vordergrund. Ausgehend von den strukturellen und thermodynamisch-chemischen Grundlagen werden daher Zustandsänderungen, Phasendiagramme, Phasenübergänge (erster und zweiter Art), sowie die Kinetik von solchen Phasenübergängen behandelt.

Die Stabilität eines Werkstoffes – sowohl mikrostrukturell als auch in Bezug auf die Zuverlässigkeit eines Bauelementes - hängt weiterhin nicht allein von der Temperatur ab, sondern auch wesentlich von den temperaturgesteuerten Prozessen, wie z. B. Diffusion und Phasenumwandlungen, die mit der Zeit Eigenschaften, beispielsweise Festigkeit, Leitfähigkeit, etc., verändern. Die Mechanismen dieser Prozesse werden diskutiert und an Beispielen verdeutlicht.

Die Behandlung des Einflusses weiterer Umwelt- und Einflussparameter, wie einer mechanischen Beanspruchung, eines Magnetfeldes, einer optischen Bestrahlung oder einer chemischen Wechselwirkung wird weiterhin verdeutlicht. Die Diskussion dieser Grundlagen erlaubt denn weiterhin, Strategien für neue Konzepte der Sensorik, Energiewandlung und -speicherung zu entwickeln bis hinein in den Bereich der Nanotechnologie.

Die Vorlesungsschwerpunkte sind somit:

- Einleitung
- Kristallstrukturen
- Beugung am Kristall
- Energetik, Phononen
- Energetik, Elektronen
- Transporteigenschaften
- Materietransport und Diffusion
- Thermodynamik (reversible, irreversible Prozesse)
- Zustandsänderungen
- Phasendiagramme
- Phasenübergänge (strukturell, magnetisch, elektronisch ...)
- Kinetik und Keimbildung (Herstellung von Clustern und dünnen Schichten)
- Anwendungen in der Sensorik
- Anwendungen in der Energiespeicherung
- Ausblick in die Probleme der Nanotechnologie für die Energietechnik

---

## Literatur

- Physikalische Chemie, Atkins, VCH-Wiley 1988
- Werkstoffe der Energietechnik, DGM 1999
- H. Schaumburg, Sensoren, Teubner 1992
- Physik der Nanostrukturen, Forschungszentrum Jülich 1998
- The Micro-/Nano Interface, H.-J. Fecht und M. Werner, VCH-Wiley 2004

---

**Lehr- und Lernformen** Vorlesung "Werkstoffe der Energietechnik", 2 SWS  
Labor "Werkstoffe der Energietechnik", 1 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 40 h  
Vor- und Nachbereitung: 50 h  
Summe: 90 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund des Bestehens einer schriftlichen oder mündlichen (abhängig von der Teilnehmerzahl) Prüfung. Die Anmeldung zu dieser Prüfung setzt die erfolgreiche Teilnahme am Praktikum voraus.

---

**Notenbildung** Die Modulnote entspricht dem Ergebnis der Modulprüfung.

---

**Grundlage für** keine Angaben

---

# Project Analog CMOS Circuit Design

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804871090

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Einordnung in die Studiengänge**

Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module,  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and SystemTechnology  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and EnergyTechnology  
Information Systems Technology, M.Sc., Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course, Microelectronics  
Embedded Systems, M.Sc., Application Subject, Mixed Signal Systems

---

**Vorkenntnisse**

Course and exam in Analog CMOS Circuit Design or proven equivalent knowledge.  
Written application for the project.

---

**Lernergebnisse**

The students are able to describe the overall flow of the design of integrated circuits in deep-submicron CMOS technologies. They can accurately operate a complex circuit simulator tool. The students are able to apply hand calculation to extract basic design specifications for the operating point and transistor scaling. They compose and model toplevel system design and are able to setup dc, ac, transient and monte carlo simulations. They can give examples for various structures for operating point generation and are able to compare them. The students can distinguish differential amplifier structures and explain their behaviour and operation. They can further design, simulate and evaluate differential

---

amplifier structures. The students are able to explain a electronic system, subdivide into and analyze the functionality of the subblocks, and theoretically as well as experimentally explain the transistor level design.

---

<b>Inhalt</b>	Yearly design project including <ul style="list-style-type: none"><li>- Design of Biasing Networks</li><li>- Design of multistage Differential Amplifier</li><li>- Design of bandgap reference circuits</li><li>- Design of high-speed comparators</li><li>- Design of a Switched Capacitor Integrator</li><li>- Design of an Analog-Digital-Converter</li><li>- Toplevel design</li><li>- Layout of the modules</li></ul>
<b>Literatur</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Handouts for the various modules of the project and multimedia learning tool for the design environment</li><li>- Allen P.E., Holberg, D.R. "CMOS Analog Circuit Design", Oxford University Press</li><li>- Baker, R.J. "CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation", Wiley</li><li>- Razavi, B. "Design of Analog CMOS Integrated Circuits", McGraw-Hill</li><li>- Johns, D. "Analog Integrated Circuit Design", Wiley</li></ul>
<b>Lehr- und Lernformen</b>	Project "Analog CMOS Circuit Design", 5 SWS
<b>Arbeitsaufwand</b>	Active Time: 60 h Preparation and Evaluation: 120 h Sum: 180 h
<b>Bewertungsmethode</b>	Certificate after fulfilment of the following criteria: Participation in all compulsory classes, successful completion of all given design and layout tasks
<b>Notenbildung</b>	not graded
<b>Grundlage für</b>	-

---

# Projekt Autonomes Modellfahrzeug

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804872158

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul

---

**Vorkenntnisse** Kenntnisse der Regelungstechnik in Bildbereich und Zustandsraum, Grundlagen der Messtechnik, Programmierkenntnisse in eine Hochsprache bevorzugt C, C++

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können theoretisches Wissen aus dem Bereich der Mess- und Regelungstechnik auf ein konkretes technisches Problem anwenden und technisch umsetzen. Die Studierenden sind zudem in der Lage, im Team eine größere zusammenhängende technische Aufgabe mit fixem Fertigstellungstermin zu bearbeiten. Sie können den Umfang von Aufgabenstellungen gezielter einschätzen und Termin- / Arbeitspläne aufstellen, verfolgen, situativ anpassen und hinsichtlich notwendiger Güte und Granularität bewerten. Sie sind in der Lage, zielgruppenorientiert technische Präsentationen zu erstellen und vorzutragen. Die Studierenden haben konkrete Erfahrungen in der Teamarbeit und können daher sowohl die Probleme als auch die Vorteile einschätzen und benennen. Sie erkennen Probleme in der Teamarbeit früher und können deren Ursachen im Rahmen der Möglichkeiten abschätzen.

---

**Inhalt** Im Rahmen des Projekts wird ein autonomes Modellfahrzeug im Maßstab 1:10 in Hardware und Software aufgebaut. Es ist in die Lage zu versetzen, dass es einen Kurs mit markierter Spur eigenständig abfahren, Hindernisse zu erkennen und diesen auszuweichen sowie automatisch einparken kann.

---

Hierzu wird das auch für richtige Fahrzeug übliche Entwicklungsframework ADTF unter Linux verwendet. Die Auswahl und Ansteuerung der dafür notwendigen Sensorik, Auswahl der Rechenhardware und Auswahl sowie Implementation der Algorithmen obliegt ebenfalls dem Team. Die Teilnahme am Hochschulwettbewerb Carolo-Cup in Braunschweig jeweils zum Ende des WS im Februar odereines ähnlichen Wettbewerbs ist Ziel und Bestandteil des Projektes.

---

**Literatur**

–

---

**Lehr- und Lernformen**

Projekt "Autonomes Modellfahrzeug", 5 SWS (P)

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 30 h  
Vorbereitung und Teilnahme am Wettbewerb Carolo-Cup: 30 h  
Vor- und Nachbereitung: 120 h  
Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode**

Leistungsnachweis erfolgt bei regelmäßiger Teilnahme der Präsenztreffen und nachgewiesener Mitarbeit im Team.

---

**Notenbildung**

unbenotet

---

**Grundlage für**

-

---

# Project Design of Integrated Systems

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870428

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns  
Prof. Dr.-Ing. Joachim Becker

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Communication and SystemTechnology  
Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Information Systems Technology, M.Sc., Elective Module, (Ing)  
Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course

---

**Vorkenntnisse**

- very good programming skills in one programming language
- background in binary number systems, especially two's complement (BK2) number system
- representation of fractional numbers with BK2
- binary addition, binary subtraction, binary multiplication (integer and fractional numbers)
- pipelining
- digital logic gates (transistor level is not required)
- functionality of registers, multiplexers
- functionality of adders, comparators, counters
- basic knowledge of UNIX/Linux commands

---

**Lernergebnisse** The students are able to describe the overall design flow of integrated digital circuits and perform the task based on a functional description towards a hardware realization on programmable logic devices. They are able to analyse a circuit specification and to realize this as a hierarchical model on basis of the hardware description language Verilog. They are able to program the Verilog code, such that the hierarchical model is met. The students are able to operate a simulator for Verilog code, to set up a simulation for their code, to run such

---

simulations and to evaluate the results. The students understand how to debug their code upon the simulation results. The students can subdivide the task into subblocks, are able to perform a task schedule and to fulfill the workpackages upon such schedule.

---

**Inhalt** - basic knowledge of the hardware description language Verilog  
- synthesizable subset of Verilog  
- design rules for synthesizable Verilog  
- complete design flow from specification to hardware realization  
The contents are imparted using a small example project. This project has to be completed by the students by the end of the semester.

---

**Literatur** Documents covering software and Verilog are provided.

---

**Lehr- und Lernformen** Project "Design of Integrated Circuits", 5 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Active Time: 60 h  
Self-Study: 10 h  
Preparation and Evaluation: 50 h  
Group Work: 60 h  
Sum: 180 h

---

**Bewertungsmethode** Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund der regelmäßigen Teilnahme an allen Pflichtübungen und erfolgreichem Abschluss aller Aufgaben.

---

**Notenbildung** Das Modul ist unbenotet.

---

**Grundlage für** -

---

# Project Dialogue Systems

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870435

---

**ECTS-Punkte** 8

---

**Präsenzzeit** 6

---

**Unterrichtssprache** deutsch und englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Dr. Wolfgang Minker

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Dr. Wolfgang Minker

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Communication and System Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy Technology  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, General Electrical Engineering  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Optional Module, Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course, Communications Engineering  
Computer Science and Media, B.Sc., Application Subject, Sprachdialogische Benutzerschnittstellen  
Computer Science and Media, M.Sc., Projekt,  
Computer Science and Media, M.Sc., Application Subject, Dialogsysteme

---

**Vorkenntnisse** No prerequisites from other lectures required. Some programming (C/C++,Java) and operating systems (Unix/Linux) knowledge would be helpful

---

**Lernergebnisse** The student shows a practical understanding of multimodal spoken dialogue systems technology. He is aware of the the interdisciplinarity of the research field. He applies his acquired knowledge through project-oriented practical work.

---

**Inhalt** Research in multimodal spoken language dialogue systems is performed on the basis of end-to-end systems including components for acoustic processing, speech signal analysis, recognition, spoken natural language understanding, dialogue processing and speech synthesis. In the framework of this component development several individual topics are proposed as practical studies. They

---

may depend on the current development status of the prototype system demonstrator of the Dialogue Systems Group.

---

**Literatur** To be distributed during the project

---

**Lehr- und Lernformen** Projekt "Dialogue Systems", 6 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Projekt "Dialogue Systems", 6 SWS  
Estimation of effort: Active Time: 192 h  
Preparation and Evaluation: 48 h  
Sum: 240 h

---

**Bewertungsmethode** Certificate after fulfillment of the following criteria: at least three meetings with the supervisor to discuss progress of work; final presentation (demo) and discussion; short description and illustration (max. 10 pages); submission of the final version (hard/software and documentation) of the project to the supervisor.

---

**Notenbildung** not graded

---

**Grundlage für** Graduate theses in the area of spoken dialogue systems technology

---

# Projekt Hochautomatisiertes Fahren

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804872151

---

**ECTS-Punkte** 6

---

**Präsenzzeit** 5

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer und Mitarbeiter

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik M.Sc., Wahlpflichtmodul (Ingenieurwissenschaften)  
Elektrotechnik M.Sc., Empfohlenes Wahlfach in der Vertiefungsrichtung AE  
Elektrotechnik M.Sc., Empfohlenes Wahlfach in der Vertiefungsrichtung KS  
Informationssystemtechnik M.Sc., Empfohlenes Wahlfach  
Ingenieurwissenschaften

---

**Vorkenntnisse**

- Grundkenntnisse zu Komponenten und Methoden der Fahrerassistenzsysteme, beispielsweise aus der gleichnamigen Vorlesung „Fahrerassistenzsysteme“ (8804872067) oder der Teilnahme am Projekt „Autonomes Modellfahrzeug“ (8804871092)
- Programmierkenntnisse in C / C++
- Kenntnisse in MatLab
- Grundkenntnisse in Unix / Linux sowie ADTF sind von Vorteil aber nicht Bedingung

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können eine abgegrenzte Software-Entwicklungsaufgabe hinsichtlich der Anforderungen inhaltlich strukturieren, terminlich planen und im Team zeitgerecht lösen. Sie sind in der Lage hierfür Teststrategien zu entwickeln, diese im realen System umzusetzen und so den Nachweis der Funktionsfähigkeit ihrer Algorithmen und Module zu liefern. Sie verfügen über umfassende fachliche Kenntnisse von Teilaspekten autonomer Systeme, insbesondere autonomer Fahrzeuge, und sind in der Lage diese zu erläutern und praktisch umzusetzen.

---

**Inhalt**

- Einführung in ADTF Entwicklungsumgebung
- Einarbeitung in ein spezifisches Thema aus dem Bereich des hochautomatisierten Fahrens wie Umgebungserfassung, Objektverfolgung,

---

Klassifikation, Situationsverstehen, Handlungsplanung, Trajektorienplanung oder Längs-/Querregelung anhand von Literatur und/oder Seminarveranstaltungen des Instituts

- Erarbeitung von algorithmischen Lösungsstrategien für die gestellte Aufgabe anhand vorgegebener Anforderungen
- Planung eines Softwaremoduls einschließlich Teststrategie
- Realisierung des Moduls in C/C++ im Team und Integration in ein bestehendes Softwareframework des Versuchsträgerfahrzeugs oder des Autonomen Modellfahrzeugs des Instituts
- Durchführung einer Evaluierung der erzielten Ergebnisse je nach Aufgabenstellung
- Abschlusspräsentation

---

**Literatur**                      Notwendige Literatur wird gestellt

---

**Lehr- und Lernformen**                      Projekt „Hochautomatisiertes Fahren“, 5 SWS (P)

---

**Arbeitsaufwand**                      Präsenzzeit: 10 h  
Selbststudium: 15 h  
Vor- und Nachbereitung: 95 h  
Gruppenarbeit: 60 h  
Summe: 180 h

---

**Bewertungsmethode**                      Die Vergabe der Leistungspunkte erfolgt aufgrund der erfolgreichen Absolvierung aller Projektphasen.

---

**Notenbildung**                      Das Projekt ist unbenotet.

---

**Grundlage für**                      -

---

# Industriepraxis

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8834885000

---

**ECTS-Punkte** 0

---

**Präsenzzeit** *keine Angaben*

---

**Unterrichtssprache** deutsch oder englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Dr. Wolfgang Minker

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Dr. Wolfgang Minker

---

**Einordnung in die Studiengänge** Bachelor of Science Elektrotechnik, Wahlpflichtmodul  
Master of Science Elektrotechnik, Wahlpflichtmodul;  
Bachelor of Science Informationssystemtechnik, Wahlpflichtmodul  
Master of Science Informationssystemtechnik, Wahlpflichtmodul  
Communications Technology, M.Sc., Wahlpraktikum

---

**Vorkenntnisse** Genehmigtes Praktikum durch das Praktikantenamt

---

**Lernergebnisse** Das Praktikum dient der Gewinnung von fachrichtungsbezogenen Kenntnissen und Erfahrungen aus der beruflichen Praxis. Darüber hinaus vermittelt die Fachpraxis Einblicke in den beruflichen Alltag und bereitet die Studierenden auf den Berufseinstieg vor.

---

**Inhalt** Die Industriepraxis umfasst ingenieurnahe Tätigkeiten auf dem Gebiet der Elektro- und Informationstechnik sowie im Grenzbereich zwischen Informatik und Elektrotechnik.

---

**Literatur** keine

---

**Lehr- und Lernformen** Externes Praktikum, Seminar mit Vorträgen

---

**Arbeitsaufwand** 9 Wochen praktische Tätigkeiten  
10-minütiger Vortrag im Seminar  
An zwei weiteren Terminen Teilnahme am Seminar

---

Kurzbericht mit maximal 15 Seiten

---

**Bewertungsmethode** Die erfolgreiche Durchführung des Industriepraktikums wird durch ein Praktikantenzugnis bescheinigt. Näheres regelt das Merkblatt zur Industriepraxis für Studierende der Bachelor-Studiengänge Elektrotechnik und Informationssystemtechnik.

---

**Notenbildung** keine

---

**Grundlage für** keine Angaben

---

# Project Radio Frequency Electronics

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804871563

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher  
Dr.-Ing. Andreas Trasser  
Dr. Václav Valenta

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course

---

**Vorkenntnisse** Radio Frequency Engineering; recommended additionally: High Frequency Microsystems or Monolithic Microwave ICs in High-Speed Systems

---

**Lernergebnisse** Students analyze an initially incomplete set of technical requirements. They discuss the requirements, identifying missing information and break down the project into individual tasks. Recognizing the necessary radio frequency electronics concepts to be employed, they sketch a solution path and design the necessary components using off-the-shelf components, appraising issues like availability and bill of materials. A prototype is finally fully developed, constructed and assessed. Along the way, common pitfalls of working in projects, and proven project management issues are reviewed.

---

**Inhalt** This project will realize a different radio frequency subsystem each year. The docents will describe a set of requirements, students will then set out to develop a system concept, research suitable off-the-shelf components, perform the complete design, and finally build and characterize a prototype. A written report describing design decisions, all data relevant to replicate the prototype, and characterization results will finalize the project. Docents will act as design consultants; additionally, short lectures will introduce important project management approaches such as Scrum, students will use simple project management techniques during the design and implementation phases.

---

---

**Literatur**

- M. Hoffmann, Hochfrequenztechnik -ein systemtheoretischer Zugang (in German)
- Lecture notes for RF Engineering
- David Rutledge, The Electronics of Radio
- S. Prasad/H. Schumacher/A. Gopinath, High-Speed Electronics and Optoelectronics (Chapter 5)

---

**Lehr- und Lernformen**

Project“Radio Frequency Electronics”, Introductory lectures, 1 SWS  
Project“Radio Frequency Electronics” , design consulting sessions; guided designexercises; guided characterization exercises, 2 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Active Time: 60 h  
Preparation and Evaluation: 60 h  
Self-Study: 30 h  
Sum: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Continuous evaluation of progress during design consulting contact sessions; written design report, oral presentation of individual work contributions.

---

**Notenbildung** ungraded course

---

**Grundlage für** Master thesis with radio frequency electronics content

---

# Praktikum Halbleitertechnologie

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870446

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** deutsch und englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Jun.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Strehle

---

**Dozent(en)** Dr. Wolfgang Ebert  
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Strehle

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Communications Technology, M.Sc., Empfohlenes Wahlfach

---

**Vorkenntnisse** Vorlesung "Semiconductor Technology" oder  
"Modern Semiconductor Devices"

---

**Lernergebnisse** Nach der erfolgreichen Absolvierung des Halbleitertechnologie-Praktikums sind die Teilnehmer praktisch befähigt, unter Reinraumbedingungen zu experimentieren und dabei komplexe Anlagen der Halbleitertechnologie zu bedienen. Sie modifizieren Halbleiteroberflächen durch thermische Abscheidung von Metallen wie Gold und Aluminium, um anschließend unter Verwendung dieser dünnen Metallschichten mittels Kontaktlithografie mikrostrukturierte Metallkontakte zu generieren. Die Teilnehmer analysieren Teststrukturen, Dioden und Transistoren unter Anwendung elementarer elektrischer Charakterisierungsverfahren und evaluieren, wie sich äußere (Geometrie) - und innere Einflußgrößen (Dotierung, intrinsische Widerstände, Idealitätsfaktor) auf die Kennlinien der Bauelemente auswirken

---

**Inhalt** Ziel des Praktikums ist es, voll funktionstüchtige Feldeffekttransistoren (GaAs-MESFET's) herzustellen und elektrisch zu charakterisieren. Das Praktikum findet in einem eigens dafür ausgestatteten Reinraum statt und vermittelt deshalb auch wichtige Erkenntnisse über die Tätigkeiten, technischen Anlagen sowie

---

Verhaltensweisen in Reinräumen.  
Schwerpunkte des Praktikums sind:

- Abscheidung von Metallen im Vakuum
- Strukturierung der Bauelemente mittels optischen Lithographieverfahren im Mikrometerbereich
- Metallätzverfahren
- Herstellung von sperrfreien und sperrenden Kontakten
- Elektrische Charakterisierung der Bauelemente

---

**Literatur**

- H. Beneking: "Halbleitertechnologie", Teubner, Stuttgart
- D. Widmann, H. Mader, H. Friedrich: "Technologie hochintegrierter Schaltungen", Halbleiterelektronik Bd. 19, Springer
- W. Kellner, H. Kniekamp: "GaAs-Feldeffekttransistoren", Springer

---

**Lehr- und Lernformen**

Praktikum "Halbleitertechnologie", 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand**

Präsenzzeit: 35 h  
Vor- und Nachbereitung: 115 h  
Summe: 150 h

---

**Bewertungsmethode**

Testat bei Erfüllung folgender Kriterien: erfolgreiche Teilnahme am Praktikum, aktive Diskussion während des Kolloquiums, Abgabe und evtl. Korrektur des Versuchsprotokolls

---

**Notenbildung**

Unbenotete Veranstaltung (Leistungsnachweis)

---

**Grundlage für**

Masterarbeit im Bereich Mikrofabrikation

---

# Praktikum Informationstechnik

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870440

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Stefan Wesner

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Stefan Wesner

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik - Kommunikations- und Systemtechnik MSc, Studienbeginn WiSe, empfohlenes Wahlmodul;  
Elektrotechnik - Kommunikations- und Systemtechnik MSc, Studienbeginn SoSe, empfohlenes Wahlmodul;  
Informationssystemtechnik MSc, Studienbeginn WiSe, empfohlenes Wahlmodul;  
Informationssystemtechnik MSc, Studienbeginn SoSe, empfohlenes Wahlmodul;

---

**Vorkenntnisse** Vorlesung Kommunikationsnetze oder durch andere Veranstaltungen (z.B. Grundlagen der Rechnernetze) erworbene Kenntnisse. Studenten sollten den grundlegenden Aufbau von Netzen anhand von Modellen wie dem ISO/OSI Modell beschreiben können. Grundlegende Eigenschaften der in lokalen Netzen eingesetzten Protokolle, wie Ethernet, TCP/IP, DHCP, . . . sollen benannt und deren grundsätzliche Einsatzgebiete beschrieben werden können.

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden können nach Besuch dieses Praktikums Rechnernetze selbständig konzipieren und konfigurieren. Darüber hinaus können die Teilnehmer unterschiedliche Rechnersysteme vergleichend bewerten, insbesondere im Hinblick auf deren Energie- und Zeiteffizienz sowie in Bezug auf deren Eignung für verschiedene Problemstellungen. Die Studenten erlernen die Fähigkeit, die Eignung der verschiedenen Rechnersysteme für verschiedene vorgegebene Problemstellungen zu beurteilen und diese auf neue Anwendungsgebiete zu übertragen. Die Teilnehmer sind zusätzlich in der Lage, Rechnersysteme verschiedener Bauart für deren Nutzung in einem Clustersystem sowohl auf Hardware- als auch auf Softwareebene zu konfigurieren, die Laufzeiten und Energieaufnahme bei

der Ausführung zu bestimmen und kleinere Cluster Anwendungen zu programmieren.

---

**Inhalt** Das Praktikum gibt einen vertiefenden Einblick in die Thematik der Kommunikationsnetze, insbesondere in IP-basierende Netzwerkprotokolle. Darüber hinaus werden der Aufbau und die Struktur von Clustersystemen vermittelt. Es stehen verschiedene Plattformen für die Realisierung der Rechnersysteme mit verschiedenen Eigenschaften zur Verfügung, um den Studenten die Möglichkeit zu geben, deren Eignung für verschiedene Problemstellungen zu untersuchen.

---

**Literatur**

- Kurose, Ross: Computer Networks, Pearson, 5th edition
- George Coulouris, Jean Dollimore, Tim Kindberg and Gordon Blair: Distributed Systems: Concepts and Design, 5th edition
- Tanenbaum, Andrew S. : Computer Networks
- Comer, Douglas E : Internetworking with TCP IP
- Parallel Computer Organization and Design Michel Dubois, Murali Annavaram, Per Stenström
- Stevens Richard: TCP/IP Illustrated

RFC's von [www.ietf.org](http://www.ietf.org)

---

**Lehr- und Lernformen** Praktikum "Praktikum Informationstechnik", 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 60 h  
Vor- und Nachbereitung: 90 h  
Summe: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Leistungsnachweis für die erfolgreiche Teilnahme am Praktikum. Dazu ist die erfolgreiche Durchführung aller Versuche, sowie die Abgabe eines Versuchsprotokolls inklusive Beantwortung der Vorbereitungsfragen erforderlich.

---

**Notenbildung** unbenotet

---

**Grundlage für** keine Angaben

---

# Praktikum Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

<b>Code</b>	8804870448
<b>ECTS-Punkte</b>	4
<b>Präsenzzeit</b>	3
<b>Unterrichtssprache</b>	deutsch
<b>Dauer</b>	1 Semester
<b>Turnus</b>	jedes Wintersemester
<b>Modulkoordinator</b>	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Herr
<b>Dozent(en)</b>	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Herr Prof. Carl Krill, Ph.D. Mitarbeiter
<b>Einordnung in die Studiengänge</b>	Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften Elektrotechnik, M.Sc., Pflichtmodul Mikroelektronik Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik
<b>Vorkenntnisse</b>	Teilnahme an der Vorlesung Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente wird empfohlen.
<b>Lernergebnisse</b>	Die Studenten können Eigenschaften von Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente eigenständig messen und prüfen. Sie experimentieren mit unterschiedlichen Materialklassen am Beispiel ausgewählter Bauelemente und wenden Grundlagenwissen im Bereich der Materialien in praktischer Weise an. Darüber hinaus analysieren sie die Ergebnisse der Versuche eigenständig und diskutieren die eigenen Resultate im Rahmen eines begleitenden Seminars. Sie können damit die Einsatzmöglichkeiten von Materialien im Bereich der Mikroelektronik kompetent beurteilen.
<b>Inhalt</b>	Es werden Versuche zu ausgewählten Themen der Vorlesung Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente angeboten. Insbesondere werden dabei folgende Gebiete abgedeckt: - Mechanische Eigenschaften von Polymeren (Dynamisch-mechanische Analyse) - Dielektrische Eigenschaften von Polymeren (Impedanzspektroskopie)

- Ionenleitung (Lambda-Sonde)
- Magnetische Eigenschaften von Materialien (Foner-Magnetometer, Förster-Sonde)

Die Studenten arbeiten sich anhand von Versuchsanleitungen und Begleitlektur in das Thema ein und führen anschließend eigenständige Versuche durch. Grundlagen und erzielte Ergebnisse werden in einem begleitenden Seminar vorgestellt und diskutiert.

---

**Literatur** - Es werden Praktikumsanleitungen zur Versuchsvorbereitung und zum vertiefenden Selbststudium zur Verfügung gestellt.  
- Des weiteren wird auch auf die Literatur zur Vorlesung Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente verwiesen.

---

**Lehr- und Lernformen** Labor "Praktikum - Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente" (2 SWS)  
Seminar "Praktikum - Materialien für elektronische und magnetische Bauelemente" (1 SWS)

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 45 h  
Vor- und Nachbereitung: 75 h  
Summe: 120 h

---

**Bewertungsmethode** Versuchsprotokolle, Seminarvorträge

---

**Notenbildung** bestanden / nicht bestanden

---

**Grundlage für** Vertiefungsvorlesungen im Master-Bereich Mikroelektronik

---

# Praktikum Mess- und Automatisierungstechnik

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870895

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer  
Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen  
  
Mitarbeiter

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Mikroelektronik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlmodul

---

**Vorkenntnisse**

- Grundlegende Methoden und Verfahren der analogen und digitalen elektrischen Messtechnik
- Grundlegende Kenntnisse über Aufbau und Funktion verschiedener Messverstärker und Messumformer
- Grundlegende Kenntnisse der Korrelationsmesstechnik
- Grundlagen der Graphentheorie
- Grundlagen der Analyse und des Entwurfs von Automatisierungslösungen mittels deterministischer Automaten
- Grundlagen der Analyse und des Entwurfs von Automatisierungslösungen mittels Petri-Netzen

---

**Lernergebnisse** Die Studierenden sind in der Lage, das in den Grundlagenvorlesungen der Messund Automatisierungstechnik vermittelte Wissen und Methoden auf praktische Problemstellungen anzuwenden. Sie kennen unterschiedliche Messverfahren und sind in der Lage, Automatisierungslösungen unter Verwendung von gängigen Softwarewerkzeugen und Hardware zu implementieren.

---

---

**Inhalt** Im Praktikum Mess- und Automatisierungstechnik werden die Inhalte der Vorlesungen Messtechnik und Automatisierungstechnik vertieft. Hierzu sind 8 Versuche im Rahmen des Praktikums durchzuführen. Zum Bestehen des Praktikums müssen alle Versuche erfolgreich absolviert werden. Es kann maximal ein Versuchstermin nachgeholt werden.  
Thematisch sollen Automatisierungslösungen am praktischen Beispiel erarbeitet und kennengelernt werden. Hierzu sind Programmieraufgaben aus den Bereichen Industrierobotersteuerung, SPS, Mikrocontroller sowie Prozessleitsystem zu bearbeiten. Aus dem Themenfeld der Messtechnik sollen beispielhaft die Ultraschallmessung, die Interferometrie sowie die Dehnungsmessung an Versuchsständen praktisch kennengelernt werden.  
Im Einzelnen werden folgende Versuche angeboten: V1) Programmierung von Industrierobotern  
V2) Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) V3) Prozeßrechentechnik  
V4) Analoge Prozessmesstechnik V5) Ultraschall V6) Pneumatischer Muskel V7) Messung mechanischer Dehnungen mit Dehnungsmeßstreifen (DMS) V8) Automatisierung des Bierbrauprozesses mit einem Prozeßleitsystem

---

**Literatur** keine Angaben

---

**Lehr- und Lernformen** Praktikum "Mess- und Automatisierungstechnik", 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 30 h  
Vor- und Nachbereitung: 120 h  
Summe: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Teilnahme an Praktikumsversuchen, Vor- und Nachbereitung. Erfolgreiche Eingangskolloquien und testierte Versuchsprotokolle.

---

**Notenbildung** keine; Ausgabe eines Leistungsnachweises bei erfolgreicher Teilnahme.

---

**Grundlage für** -

---

# Praktikum Mess- und Entwurfsverfahren in der HF-Technik

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870612

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Allgemeine Elektrotechnik

---

**Vorkenntnisse** Teilnahme am Modul „Einführung in die Hochfrequenztechnik“

---

**Lernergebnisse** Nach erfolgreicher Durchführung des Praktikums sind die Studierenden in der Lage die wichtigsten Messgeräte der Hochfrequenztechnik anzuwenden. Sie können Antennen vermessen. Sie sind fähig, Messergebnisse der HF- und Antennentechnik kritisch zu beurteilen und diese Ergebnisse in ihren Bezug zur elektromagnetischen Verträglichkeit einzuordnen.

---

**Inhalt** Im Gegensatz zum Pflichtpraktikum im Rahmen des Moduls „Einführung in die HF-Technik“ finden diese Praktikumsversuche zum Teil an den Geräten der Abteilung statt, die sonst für die Forschungsaktivitäten der Professoren und akademischen Mitarbeiter und für Bachelor- und Masterarbeiten genutzt werden. Die verwendeten Messgeräte sind folglich überwiegend Stand der Technik und werden damit ebenfalls in der Industrie eingesetzt. Im Einzelnen befassen sich die Versuche mit:

1. Hochfrequenzempfänger
  - Grundtypen von Hochfrequenzempfängern, Probleme im Zusammenhang mit Intermodulation
2. Frequenzsynthese und Synchronisationsverfahren
  - Phasenregelkreise, Fang-, Haltebereich, Costas-Loop, Modulation-Domain-

Analysator

3. Rauschzahlmessungen

- Grundlagen der Rauschmesstechnik, Kalibration, Messungen der Rauschzahlen von verschiedenen Komponenten, z. B. eines MeSFETs

4. Vektorieller Netzwerkanalysator

- Kalibrationsmethoden, Kalibrierstandards, Zeitbereichsmessungen, Gating

5. Skalare Streuparameter-Messungen (Hohlleiter)

- Einführung in die Hohlleiter-Messtechnik, Zirkulatoren, Blenden im Hohlleiter, Filter, Inverter

6. Elektromagnetische Verträglichkeit(EMV)

- EMV-Receiver, Magnetfeldsonden, Verkopplungen, Ersatzschaltbild realer

7. HF-Halbleiterbauelemente

- Einführung in die vektorielle Hochfrequenzmesstechnik anhand von aktiven Bauelementen.

Bestimmung von Kleinsignal-ESB von aktiven Bauelementen (Transistoren, Dioden)

8. Antennenmessungen

- Messungen von K-Band-Hornantenne, Parabolantenne, Antennenarrays mit Antennendrehstand und Netzwerkanalysator

---

**Literatur** Ist jeweils in den Beschreibungen der einzelnen Versuche angegeben

---

**Lehr- und Lernformen** Praktikum "Mess- und Entwurfsverfahren in der HF-Technik", 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 40 h  
Vor- und Nachbereitung: 110 h  
Summe: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Nachweis einer ausreichenden Vorbereitung und erfolgreiche Durchführung der Praktikumsversuche. Keine Prüfung.

---

**Notenbildung** unbenotet

---

**Grundlage für** -

---

# Praktikum Regelungstechnik

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870896

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Deutsch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Klaus Dietmayer  
Prof. Dr.-Ing. Knut Graichen  
  
Mitarbeiter

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Ingenieurwissenschaften  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Kommunikations- und Systemtechnik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlmodul Mikroelektronik  
Elektrotechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul Automatisierungs- und Energietechnik  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Wahlpflichtmodul

---

**Vorkenntnisse**

- Beschreibung linearer Systeme im Frequenzbereich
- Entwurf linearer Regler im Frequenzbereich
- Beschreibung linearer Systeme im Zeitbereich, insbesondere auch Zustandsraumdarstellung
- Entwurf linearer Regler für Ein- und Mehrgrößensysteme im Zeitbereich
- Entwurf von linearen Zustandsbeobachtern

---

**Lernergebnisse**

Die Studierenden sind in der Lage, das in den Grundlagenvorlesungen der Regelungstechnik vermittelte Wissen und Methoden auf praktische Problemstellungen anzuwenden. Dazu können sie einfache Modelle der betrachteten Beispielsysteme herleiten und in einer geeignete Form zum Regler- und/oder Beobachterentwurf mathematisch beschreiben. Sie können Regler- und Beobachterverfahren sowohl unter Verwendung von gängigen Softwarewerkzeugen und Rapid-Prototyping-Hardware implementieren als auch in analoger Form realisieren.

Die Studierenden sind darüber hinaus in der Lage, die Qualität der eingesetzten Regelungen auch unter realistischen Einsatzbedingungen zu bewerten und verschiedene Konzepte miteinander zu vergleichen.

---

---

**Inhalt** Im Praktikum Regelungstechnik werden die Inhalte der Vorlesungen Einführung in die Regelungstechnik, Systemtheorie und Digitale Regelungen vertieft. Hierzu werden 8 Versuche angeboten. Zum Bestehen des Praktikums müssen alle Versuche erfolgreich absolviert werden. Es kann maximal ein Versuchstermin nachgeholt werden.

Thematisch werden die wichtigsten regelungstechnischen Methoden im Frequenzbereich und Zustandsraum am praktischen Beispiel umgesetzt. Neben exemplarischen Aufbauten zur Antriebstechnik (Elektrische Maschinen) werden verfahrenstechnische Grundaufgaben (Füllstandsregelung mit Prozeßleitsystem) behandelt. Des weiteren wird eine Einführung in wichtige Hilfsmittel (unterstützende Simulations- und Mathematikprogramme mit regelungstechnischen Bibliotheken, analoge Schaltungen) zur Untersuchung dynamischer Systeme und zum Reglerentwurf gegeben.

Im Einzelnen werden folgende Versuche angeboten:  
V1) Beobachter- und Reglerentwurf für eine Gleichstrommaschine V2) Regelung eines inversen Pendels V3) Schwebender Körper im Magnetfeld V4) Identifikation eines Hubschraubers V5) Modellierung V6) Digitale Regelung V7) Steuerung und Regelung eines Prozeßmodells mit WINERS (Füllstand) V8) Entwurf eines Zustandsreglers und eines Beobachters für eine Verladebrücke

---

**Literatur** keine Angaben

---

**Lehr- und Lernformen** Praktikum "Regelungstechnik", 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Präsenzzeit: 30 h  
Vor- und Nachbereitung: 120 h  
Summe: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Teilnahme an Praktikumsversuchen, Vor- und Nachbereitung. Erfolgreiche Eingangskolloquien und testierte Versuchsprotokolle.

---

**Notenbildung** keine; Ausgabe eines Leistungsnachweises bei erfolgreicher Teilnahme.

---

**Grundlage für** -

---

# Laboratory Digital Communications

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804872271

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Robert Fischer  
Dr. Werner Teich  
Dipl.-Ing. Günther Haas

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik MSc, Wahlpraktikum  
Informationssystemtechnik MSc, Wahlpraktikum  
Communications Technology MSc, Wahlpraktikum

---

**Vorkenntnisse** Module "Digital Communications"

---

**Lernergebnisse** The students will be able to assess and compare digital pulse amplitude modulated communication schemes and its variants / generalizations based on real-world signals and using measurement equipment like oscilloscope and spectrum analyzer. Besides this, the students are able to devise and perform numerical simulations of digital transmission schemes. The connection, equivalence, and differences between real-world signal / channels and the respective models in the numerical simulations can be formulated and explained. Digital modulation formats can be assessed in the power-bandwidth plane.

---

**Inhalt**

- Digital Pulse-Amplitude Modulation
- Implementation of PAM Transmission in MATLAB
- Variants of PAM Transmission Schemes
- Signal Space Representation
- Equalization of Dispersive Channels
- Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

---

**Literatur** A lab manuscript with detailed exposition of the theoretical background, homework problems, and the lab experiments is provided.

---

---

**Lehr- und Lernformen**            Lab "Digital Communications", 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand**            Active Time: 30 h  
Preparation and Evaluation: 90 h  
Self-Study: 30 h  
Sum: 150 h

---

**Bewertungsmethode**    Inhalte werden vom Studiengang eingetragen.

---

**Notenbildung**            Inhalte werden vom Studiengang eingetragen.

---

**Grundlage für**            -

---

# Lab - Laboratory Automation Techniques

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8822271731

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Dr.-Ing. Andreas Trasser

---

**Dozent(en)** Dr.-Ing. Andreas Trasser  
Dr. Václav Valenta

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course, Microelectronics

---

**Vorkenntnisse** Fundamental knowledge of:  
- Physics of semiconductor devices  
- RF engineering and twoport parameters  
- Programming (structuring problems and implementation in a programming language)

---

**Lernergebnisse** Students recognize and describe the electrical and logical principles of operation of the GPIB bus. They are able to develop simple programs to control measurement equipment, and to assist in the interpretation of measurement results. Students discover the functional principles of sampling oscilloscopes through experiments, and use it to conduct measurements on transmission lines. They identify the operational concepts of vector network analyzers, including error correction techniques, measure scattering parameters of microwave transistors, and discriminate the results from those obtained from an equivalent circuit. Students recognize fundamental noise measurement techniques, apply them to active devices in the frequency domain, and interpret them, interpreting differences between their measurements and theoretical models.

---

**Inhalt** Students will get a practical view of special aspects of laboratory characterization techniques, with an application emphasis on the characterization of semiconductor devices. The experiments treat the DC characterization of

---

semiconductor devices using source measure-units and GPIB control, noise parameter measurements, scattering parameter characterization, equivalent-time sampling oscillography, and time-domain reflectometry.

---

<b>Literatur</b>	Script describing experiments including theoretical background
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Laboratory "Laboratory Automation", 4 SWS
-----------------------------	---

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Active Time: 26 h Preparation and Evaluation: 124 h Sum: 150 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Oral colloquium at start of each lab exercise (students may be excluded if insufficiently prepared; active participation in experiment; evaluation of written report for each experiment.
--------------------------	---

---

<b>Notenbildung</b>	The course is not graded. Successful completion requires Sufficient preparation for each experiment (colloquium at start of each experiment) Active participation in each experiment Submission and acceptance of report documenting each experiment (1 per group)
---------------------	---

---

<b>Grundlage für</b>	Master thesis research involving electrical characterization techniques, especially related to semiconductor devices and active microwave components
----------------------	--

---

# Lab - Optoelectronics

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804870444

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** English / deutsch (für deutschsprachige Gruppen)

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr. Peter Unger

---

**Dozent(en)** Prof. Dr. Ferdinand Scholz  
Prof. Dr. Peter Unger  
apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Rainer Michalzik

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module  
Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Compulsory Subject Module, Microelectronics  
Electrical Engineering, M.Sc., Optional Module, Automation and Energy  
Technology

---

**Vorkenntnisse** "Optical Communications" or "Einführung in die Optoelektronik"

---

**Lernergebnisse** The students are able to explain the physics of commonly used optoelectronic devices and systems like optical waveguides, optical couplers, photodiodes, semiconductor lasers, tunable laser diodes, erbium-doped fiber amplifiers, optical fibers, and optical data transmission systems. They are able to prepare experiments to measure the basic device and system characteristics. They can extract the relevant data describing the device or system performance. The students are able to critically interpret their measurements and to write a scientifically profound illustrated report on their measurements and their interpretation.

---

**Inhalt** The laboratory course gives students an excellent opportunity to explore the exciting microworld of laser diodes, optical fibers, photodetectors, fiber amplifiers, and optical transmission systems. Seven half-day experiments are performed, which deal with the following topics:

- Light propagation and coupling
- Optical fiber characterization
- Photodiodes

---

- Semiconductor lasers
- Tunable laser diodes
- Erbium-doped fiber amplifier
- Optical data transmission

---

**Literatur** For each experiment, a detailed manuscript is provided which describes the theoretical background and guides through the experimental part.

---

**Lehr- und Lernformen** Labor "Optoelectronics", 4 hours per week

---

**Arbeitsaufwand** Active Time: 28 h  
Preparation and Evaluation: 84 h  
Self-Study: 38 h  
Sum: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Certificate after fulfillment of the following criteria: successful participation in all seven experiments, active discussion during the colloquium, preparation und possible correction of the protocols.

---

**Notenbildung** not graded

---

**Grundlage für** -

---

# Lab - RF Engineering

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804871735

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt  
Dr.-Ing. Frank Bögelsack

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module,  
Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course

---

**Vorkenntnisse** Participation at the lecture "RF & Microwave Engineering"

---

**Lernergebnisse** The students are familiar with the most important measurement equipment and methods of the RF & microwave techniques including antenna measurements, electromagnetic compatibility and microwave CAD.

---

**Inhalt** The experiments deal with:

1. Waves on transmission lines
  - Characterization of unknown complex impedances by determination of the voltages distribution on a TEM transmission line
2. Modulation
  - Basics of amplitude, frequency, and phase modulation
3. CAD (Analysis and optimization of linear circuits)
  - Analysis and optimization of passive and active circuits using an up-to-date commercial microwave CAD tool (HPEESOF ADS)
4. Scalar scattering parameter measurements (coaxial)
  - Introduction to coaxial measurement techniques, filters, impedance transformers
5. Planar circuits
  - Characterization of glass fiber reinforced Teflon (PTFE) substrates by measurement of planar resonators, 4-port coupler

6. Noise figure measurements
  7. Scalar scattering parameter measurements (waverguide)
  8. Antenna measurements
- Measurements of the radiation diagrams of a K-band horn antenna, a parabolic antenna, a phased array antenna are done and a network analyser

---

**Literatur** Will be given in the written handouts of each experiment

---

**Lehr- und Lernformen** Laboratory "RF Engineering", 4 SWS

---

**Arbeitsaufwand** Preparation and Evaluation: 110 h  
Active Time: 40 h  
Sum: 150 h

---

**Bewertungsmethode** Proof of sufficient preparation and successful performance of the lab experiments.  
No examination.

---

**Notenbildung** not graded

---

**Grundlage für** -

---

# Lab - Materials Science II

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8822870909

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 4

---

**Unterrichtssprache** english

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Sommersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.Ing. Ulrich Herr

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.Ing. Ulrich Herr, lecturers of the Faculty of Engineering and Computer Science

---

**Einordnung in die Studiengänge** Advanced Materials (Biomaterials) MSc, begin of study WiSe, compulsory modul, 2. semester  
Advanced Materials (Nanomaterials) MSc, begin of study WiSe, compulsory modul, 2. semester

---

**Vorkenntnisse** Materials Science I, Materials Science Lab I, attendance in Materials Science II

---

**Lernergebnisse** Students should  
- learn to operate modern instruments  
- learn to applicate their fundamental knowledge of Materials Science  
- be able to present and report own experimental work/results

---

**Inhalt** Laboratory experiments:  

- Lambda probe
- Optical properties of ceramics
- Vibrational sample magnetometry & Kerr microscopy
- Thin film preparation
- Magnetoresistance & Kerr magnetometry
- Amorphous metals

Each experiment requires approximately 4 hours (1 session). In addition to carrying out the experiments listed above, students are required to attend three 2hourseminars, during which members of the class give oral presentations of their experimental work to the remainder of the group

**Literatur**

---

**Lehr- und Lernformen** Lab Materials Science II (P), 4 h/week, compulsory

---

**Arbeitsaufwand** 25 h laboratory (presence)  
25 h preparation  
100 h home writing report and revision  
Total: **150 h**

---

**Bewertungsmethode** Seminar, report, certificate

---

**Notenbildung** Passed or failed

---

**Grundlage für** MSc course of studies Advanced Materials

---

# Laboratory Vector Network Analysis

Modul zugeordnet zu Praxismodule Elektrotechnik

**Code** 8804871737

---

**ECTS-Punkte** 5

---

**Präsenzzeit** 3

---

**Unterrichtssprache** Englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Wintersemester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher

---

**Dozent(en)** Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher  
Dr.-Ing. Andreas Trasser  
Dr.-Ing. Václav Valenta

---

**Einordnung in die Studiengänge** Electrical Engineering, M.Sc., Elective Module, Engineering Sciences  
Communications Technology, M.Sc., Optional Lab Course,  
Communications and Computer Engineering, M.Sc., Optional Lab Course

---

**Vorkenntnisse** Basic knowledge of RF engineering

---

**Lernergebnisse** Students describe the most important concepts of vectorial measurements at radio frequencies and assess key tradeoffs between diverse measurement techniques, choice of measurement parameters and error correction procedures. Students employ accurate calibration techniques and operate a vector network analyzer, distinguishing between frequency and time domain characterization techniques. They demonstrate time domain reflectometry using vector network analysis. Measurement results are interpreted and used to prepare equivalent circuit models of the measured components or to carry out deembedding of test fixtures of active devices.

---

**Inhalt** Vector Network Analyzers (VNAs) are indispensable instruments in every RF laboratory as they provide the most common way to characterize network parameters (e.g. scattering parameters, impedance or admittance parameters, etc.) of electrical networks (power amplifiers, filters and other n-port networks). As a result, understanding the fundamental principles of VNA measurements belongs to the essential knowledge of an RF engineer. The main goal of this laboratory

course is to introduce students the fundamental RF VNA measurement techniques, principles, manipulations and measurement procedures. Throughout different measurement exercises, this course will provide students firm grasp and validation of the common theory gained in previous electro-technical courses.

List of experiments:

- R, L, C measurements
- Measurements on a bias tee (RF/DC coupler)
- Measurements on a radio frequency filter
- Measurements on a semiconductor diode
- De-embedding procedures and measurements of FET and BJT transistors in a test fixture
- Measurements on coaxial cables (dielectric constant, length)
- Time domain reflectometry: measurements on passive components, localizations of faults in transmission lines
- Time domain reflectometry: measurements on passive
- Introduction to the time gating as a deembedding technique

---

<b>Literatur</b>	Scattering parameter tutorial (Prof. Schumacher, provided online); detailed descriptions for each experiment
------------------	--

---

<b>Lehr- und Lernformen</b>	Laboratory "Vector Network Analysis", 3 SWS
-----------------------------	---

---

<b>Arbeitsaufwand</b>	Active Time: 29 h Preparation and Evaluation: 121 h Sum: 150 h
-----------------------	--

---

<b>Bewertungsmethode</b>	Successful completion requires (a) Sufficient preparation for each experiment (colloquium at start of each experiment) (b) Active participation in each experiment. (c) Submission and acceptance of report documenting each experiment (1 per group)
--------------------------	---

---

<b>Notenbildung</b>	The course is not graded.
---------------------	---------------------------

---

<b>Grundlage für</b>	Master thesis with topics requiring vector network analysis
----------------------	---

---

# Masterarbeit

Modul zugeordnet zu Masterarbeit Elektrotechnik

**Code** 8804880000

---

**ECTS-Punkte** 30

---

**Präsenzzeit** *keine Angaben*

---

**Unterrichtssprache** deutsch oder englisch

---

**Dauer** 1 Semester

---

**Turnus** jedes Semester

---

**Modulkoordinator** Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns (Studiendekan)

---

**Dozent(en)** Erstbetreuer der Masterarbeit

---

**Einordnung in die Studiengänge** Elektrotechnik, M.Sc., Abschlussarbeit  
Informationssystemtechnik, M.Sc., Abschlussarbeit

---

**Vorkenntnisse** Wünschenswert ist es, grundlegende Module aus dem Gebiet der Masterarbeit belegt zu haben.

---

**Lernergebnisse** Selbstständiges Einarbeiten und wissenschaftlich methodische Bearbeitung eines für die Elektrotechnik oder Informationssystemtechnik relevanten Themas. Erwerb der Fähigkeiten, komplexe Fragestellungen der Ingenieurwissenschaften unter Anwendung des erlernten Fachwissens sowie bekannter wissenschaftlicher Methoden und Erkenntnisse innerhalb eines vorgegebenen Zeitrahmens selbständig zu bearbeiten, in Form einer Ausarbeitung darzustellen und vor sachkundigem Publikum verständlich zu präsentieren. Erlernen von Schlüsselqualifikationen wie Management eines eigenen Projekts, Präsentationstechnik und Verfeinerung der rhetorischen Fähigkeiten.

---

**Inhalt** Abhängig von der konkreten Themenstellung.

---

**Literatur** Abhängig von der konkreten Themenstellung.

---

**Lehr- und Lernformen** Masterarbeit Wahl eines geeigneten Themas an einem der Institute der Ingenieurwissenschaften  
(Dozenten der Ingenieurwissenschaften)

---

---

**Arbeitsaufwand**      Präsenzzeit: 10 h  
                              Vor- und Nachbereitung: 890 h  
                              Summe: 900 h

---

**Bewertungsmethode** Schriftliche Ausarbeitung und Abschlussvortrag.

---

**Notenbildung**            Die Modulnote wird gemäß Prüfungsordnung gebildet.

---

**Grundlage für**            -

---