

Modulhandbuch  
Compilation of Modules

Master Erneuerbare Energien und intelligente Netze

# Inhaltsverzeichnis / Table of Contents

Betriebssysteme und Rechnernetze	4
Elektrische Energieversorgung	6
Grundlagen der elektrischen Maschinen und Antriebe	8
Grundlagen der Hochspannungstechnik	10
Grundlagen der Leistungselektronik	12
Industriekommunikation im Smart Grid	14
Laborpraktikum Leistungselektronik	16
Leistungselektronik für intelligente Netze	18
Masterarbeit	20
Netzbetrieb und intelligente Netze	22
Nichtlineare Regelungen	24
Regenerative Energiesysteme im Netzparallelbetrieb	27
Studienarbeit	29

## Modulübersicht / Abstract of Modules

<b>Titel</b>	<b>Title</b>	<b>LP</b>	<b>Verantwortlicher</b>	<b>Verwendbarkeit</b>	<b>Seite</b>
		CP	Contact Person	Usability	Page
Betriebssysteme und Rechnernetze	Operating Systems and Computer Networks	8	Prof. Dr. Bernd Klauer	PF in M.Sc. EEN + INI	4
Elektrische Energieversorgung	Electrical Power Supply	6	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	PF in M.Sc. EEN	6
Grundlagen der elektrischen Maschinen und Antriebe	Fundamentals of Electromechanical Power Conversion	7	Prof. Dr.-Ing. Christian Kreischer	PF in M.Sc. EEN + ENT	8
Grundlagen der Hochspannungstechnik	Introduction to High-Voltage Technology	4	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	PF in M.Sc. EEN + ENT	10
Grundlagen der Leistungselektronik	Fundamentals of Power Electronics	4	Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann	PF in M.Sc. EEN	12
Industriekommunikation im Smart Grid	Smart Grid Communication Technologies	3	Prof. Dr.-Ing. Gerd Scholl	PF im M.Sc. EEN	14
Laborpraktikum Leistungselektronik	Laboratory Exercises in Power Electronics	4	Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann	PF in M.Sc. ENT + EEN	16
Leistungselektronik für intelligente Netze	Power Electronics for Intelligent Networks	6	Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann	PF in M.Sc. EEN	18
Masterarbeit	Masterarbeit	30	Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik	PF in M.Sc. EEN	20
Netzbetrieb und intelligente Netze	Grid Operation and Intelligent Networks	5	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	PF in M.Sc. EEN	22
Nichtlineare Regelungen	Nonlinear Control	4	Prof. Dr.-Ing. Joachim Horn	PF in M.Sc. EEN	24
Regenerative Energiesysteme im Netzparallelbetrieb	Regenerative Energy Systems in Grid-Connected Operation	5	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	PF in M.Sc. EEN	27
Studienarbeit	Student Research Project	10	Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik	P in EEN	29

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr. Bernd Klauer

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

bernd.klauer@hsu-hh.de

040 / 6541-3380

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

Nach Abschluss des Moduls können die Studierenden den inneren Aufbau und die internen Wirkmechanismen eines Betriebssystem erklären. Weiterhin können Sie die Schnittstellen und Abstraktionen zwischen Betriebssystem und Anwendungen erklären und im Rahmen einfacher Beispielanwendungen selbständig umsetzen. Sie können den Aufbau von Computer Netzwerken erklären und besitzen ein Grundverständnis über die Struktur und die Wirkungsweise des Internets. Zusätzlich können sie grundlegende Begriffe der Netzwerksicherheit erklären und können mittels einer Analysesoftware (z.B. Wireshark) Netzwerktraffic analysieren. Sie können ein Netzwerkschnittstellen als Betriebssystemressourcen verstehen und erklären.

**Inhalte / Content**

**Betriebssysteme**

- Historische Entwicklung und Klassifikation
- Prozesse und Threads
- Kommunikation und Synchronisation
- Ablaufplanungsmethoden
- Speicherhierarchie und -verwaltung
- Massenspeicherverwaltung und Dateisysteme
- Geräteverwaltung
- Rechteverwaltung
- Betriebssysteme im Umfeld eingebetteter Systeme
- Virtuelle Maschinen

**Rechnernetze**

- Grundlagen der Rechnernetze
- Verteilte Systeme
- Kommunikationssysteme
- Das ISO/OSI-Referenzmodell
- Vertiefung über die im ISO/OSI-Modell vorhandenen Dienste und Protokolle über Schicht 2 bis 7
- Technologien, Strukturen und Methoden in Schicht 1
- Das TCP/IP-Modell
- Das Internet

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Betriebssysteme	V	2	HT
Betriebssysteme	Ü	2	HT
Rechnernetze	V	2	WT
Rechnernetze	Ü	2	WT

## Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods

Vorlesung mit Übung

---

## Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements

keine

---

## Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module

PF in M.Sc. EEN + INI

---

## Arbeitsaufwand / Work Load

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung	24	2	48
Vor- und Nachbereitung der Vorlesung und der Übung	24	4	96
Übung	12	2	24
Übung	12	2	24
Prüfungsvorbereitung	3	16	48
			240

---

## Prüfung und Benotung / Evaluation

Studienbeginn vor 2022: Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) oder einer mündlichen Prüfung oder einer Projektarbeit beendet.

Ab Studienbeginn 01.01.2022: Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) oder einer mündlichen Prüfung beendet.

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

- Fertigkeiten zur Anwendung grundlegender Methoden in der Energieerzeugung und -verteilung
- Anwendung von Kompetenzen bei der Beurteilung verschiedener Energiewandlungsmechanismen
- Fähigkeiten zum systematischen Vorgehen bei der Lösung komplexer Aufgaben

**Inhalte / Content**

Grundlagen der elektrischen Energieerzeugung:

- thermodynamische Grundlagen der Kraftwerkstechnik
- Stromerzeugung mit fossil befeuerten Kraftwerken:  
kohle- und gasbefeuerte Kraftwerke
- regenerative Stromerzeugung:  
Brennstoffzellen, Wasserkraftwerke, Windenergieanlagen, solarthermische Kraftwerke, Geothermie, Strömungs- und Gezeitenkraftwerke, Photovoltaik, Biomassekraftwerke, Energiespeicherung
- Kraftwerksregelung, Kraftwerkseinsatz

Aufbau von Energieversorgungsnetzen:

- Übertragungssysteme
- Struktur von Drehstromnetzen
- Aufbau und Funktion von Bordnetzen

Aufbau und Ersatzschaltbilder der Netzelemente:

- Aufbau und Betrieb von Leistungstransformatoren, Messwandlern, Synchronmaschinen, Freileitungen, Kabeln, Leistungskondensatoren, Drosselspulen, Schaltern, Schaltanlagen

Auslegung von Netzen im Normalbetrieb:

- thermische Belastung
- Spannungshaltung
- Lastflussberechnung

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Elektrische Energieversorgung	V	4	WT, FT
Elektrische Energieversorgung	Ü	2	WT, FT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

Vorlesung, Übung

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

keine

---

**Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module**

PF in M.Sc. EEN

---

**Arbeitsaufwand / Work Load**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung	24	2	48
Übung	12	2	24
Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	24	3	72
Prüfungsvorbereitung	2	18	36
			180

---

**Prüfung und Benotung / Evaluation**

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) beendet.

---

**Dauer in Trimestern / Duration of Module**

zwei Trimester

---

**Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten / Registration**

Anmeldung im CMS

---

**Literatur / Bibliographical References and Course Material**

Heuck/Dettmann/Schulz: Elektrische Energieversorgung, Vieweg-Verlag

Zusatzmaterial wird in der Lehrveranstaltung zur Verfügung gestellt

---

**Sonstiges / Miscellaneous**  

---

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Christian Kreischer

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

christian.kreischer@hsu-hh.de

040/6541-2060

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

- Anwendungssicheres Verständnis der physikalischen Phänomene, die für die Wirkungsweise und das Betriebsverhalten elektrischer Maschinen und Antriebe wichtig sind.
- Fähigkeit zur Aufstellung mathematischer Modelle für die quantitative Beschreibung des Betriebsverhaltens elektrischer Maschinen und Antriebe.
- Fähigkeit zur Bewertung der behandelten Systeme.

**Inhalte / Content**

- Einführung: Inhalt, Ziele, wirtschaftliche Bedeutung
- Elektromagnetische Induktion, Spannungsinduktion in elektrischen Maschinen und Anlagen
- Elektrische Leistung
- Typische Ausgleichsvorgänge
- Einphasen- und Drehstrom-Transformatoren
- Wirbelströme und Ummagnetisierungsverluste
- Erwärmung und Kühlung
- Grundstruktur elektrischer Antriebe
- Bewegungsgleichung und Stabilität
- Wicklungen und Magnetfelder
- Elektromechanische Energiewandlung

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Grundlagen der elektrischen Maschinen und Antriebe	V	4	WT
Grundlagen der elektrischen Maschinen und Antriebe	Ü	2	WT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

Vorlesung mit Demonstrationen/Experimenten, z. T. Rechneranimation

Übung mit aktiver Einbeziehung der Studenten und Lernfortschrittskontrolle

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

keine

## Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module

PF in M.Sc. EEN + ENT

---

### Arbeitsaufwand / Work Load

	Wochen	Std./Woche	Std. inges.
Vorlesung	12	4	48
Übung	12	2	24
Vor- und Nachbereitung	12	4	48
Prüfungsvorbereitung			90
Summe der Stunden			210

---

### Prüfung und Benotung / Evaluation

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (180 Minuten) beendet.

---

### Dauer in Trimestern / Duration of Module

ein Trimester

---

### Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants

unbegrenzt

---

### Anmeldeformalitäten / Registration

Anmeldung im CMS

---

### Literatur / Bibliographical References and Course Material

1. Skriptum verfügbar auf der Homepage der Professur
  2. R. Fischer, Elektrische Maschinen, Hanser 2009
  3. G. Müller; B. Ponick, Grundlagen elektrischer Maschinen, Wiley 2006
  4. Ekkehard Bolte, Elektrische Maschinen, 2. Auflage, Springer 2018
-

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

- Fähigkeiten zur Anwendung von Grundlagen der Isolationsmaterialien und Durchschlagsmechanismen
- Fähigkeiten zur Berechnung typischer Fehlerfälle in Hochspannungsanlagen
- Fertigkeiten zur eigenständigen Auslegung von einfachen Hochspannungsanlagen
- Fähigkeiten zu systematischem Vorgehen bei der Lösung komplexer Aufgaben

**Inhalte / Content**

Grundlagen:

- äußere und innere Überspannungen:  
Blitzeinschlag, Zustandsänderungen im Netz, Systematik der Überspannungen, Mindestabstände, konstruktive Auswirkungen, Methoden der Feldberechnung, Grenzflächen, Schichtdielektrikum, Ersatzschaltbilder für Isolierstoffe, Schwaiger-Faktor, Mehrelektrodenanordnungen, tangential belastete Grenzflächen, Werkstoffstörungen

Gasförmige Isolierstoffe:

- Verlustfaktor, unselbstständige und selbstständige Gasentladung, Streamer- und Townsend-Mechanismus, Parameteruntersuchung für die Durchschlagfeldstärke, Polaritätseffekt, elektrische Festigkeit und Durchschlagsmechanismen

Feste Isolierstoffe:

- Eigenschaften, Parameter für die Durchschlagfeldstärke, Durchschlagskennlinie

Flüssige Isolierstoffe:

- Eigenschaften, Parameter für die Durchschlagfeldstärke, Durchschlagskennlinie

Isolationspegel:

- Prüfbedingungen, Auswahl und Erzeugung von Prüfspannungen

Hochspannungstechnische Gestaltung von Betriebsmitteln:

- Leistungstransformatoren, Freileitungen, Kabel, Durchführungen, Wandler, Schalter, Schaltanlagen

Vertiefung des Stoffes durch Laborversuche

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Grundlagen der Hochspannungstechnik	V	2	WT

Grundlagen der Hochspannungstechnik	Ü	1	WT
-------------------------------------	---	---	----

---

### Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods

Vorlesung, Übung

---

### Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements

keine

---

### Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module

PF in M.Sc. EEN + ENT

---

### Arbeitsaufwand / Work Load

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung	12	2	24
Übung	12	1	12
Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	12	4	48
Prüfungsvorbereitung	2	18	36
			120

---

### Prüfung und Benotung / Evaluation

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) beendet.

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

klaus.hoffmann@hsu-hh.de

040/6541-2853

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

Die Kursteilnehmer können die wesentlichen Eigenschaften konventioneller und moderner Leistungshalbleiter beschreiben und unterscheiden. Ferner haben die Studierenden Methoden zur Bestimmung von Durchlass- und Schaltverlusten der Bauelemente kennengelernt und können diese anwenden. Zudem wurde die Fähigkeit erlangt, das Kühlsystem von Leistungshalbleitern (Entwärmungsverfahren) zu dimensionieren. Die Teilnehmer können Kommutierungskreise analysieren und entsprechend vereinfachen.

**Inhalte / Content**

- Einsatzgebiete und Einsatzgrenzen moderner Leistungshalbleiter
- Einführung in die Grundlagen der Halbleiter-Physik
- Leistungsdioden - statisches und dynamisches Verhalten
- Konventionelle Leistungshalbleiter: Thyristor und GTO-Thyristor
- Thyristoren als Leistungsschalter in Gleichstromstellern
- Moderne Leistungshalbleiter: Leistungs-MOSFET, IGBT und GCT
- Gegenüberstellung von Leistungs-MOSFET und IGBT
- Aufbau von Leistungsmodulen (MOSFET- und IGBT-Module)
- Berechnung von Durchlass- und Schaltverlusten
- Kommutierung in hochfrequent getakteten Umrichtern
- Thermische Ersatzschaltbilder und Entwärmung
- Diskussion von Datenblättern moderner Leistungshalbleiter
- Thermische Beanspruchung und Lastzyklenfestigkeit
- Treiberschaltungen für Leistungshalbleiter
- Entwicklungstrends im Bereich der Leistungshalbleiter (Siliziumkarbid und Gallium-Nitrid)

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Grundlagen der Leistungselektronik	V	3	WT
Grundlagen der Leistungselektronik	Ü	1	WT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

Vorlesung mit kombinierten Rechenübungen

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

Keine

**Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module**

PF in M.Sc. EEN

---

**Arbeitsaufwand / Work Load**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung Grundlagen der Leistungselektronik	12	3	36
Übung Grundlagen der Leistungselektronik	12	1	12
Vor- und Nachbereitung	12	3	36
Prüfungsvorbereitung			36
			120

---

**Prüfung und Benotung / Evaluation**

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) beendet.

Bei der Bewertung der schriftlichen Prüfung werden Vorleistungen, die studienbegleitend erbracht wurden, durch einen Punktebonus von bis zu 10% der in der schriftlichen Prüfung erreichbaren Punkte berücksichtigt. Die Vorleistungen können durch erfolgreiche Teilnahme an den Rechenübungen erbracht werden.

---

**Dauer in Trimestern / Duration of Module**

ein Trimester

---

**Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten / Registration**

Anmeldung im CMS

---

**Literatur / Bibliographical References and Course Material**

Hilfsblätter und Literaturhinweise werden im Rahmen der Vorlesung vorgestellt und ausgeteilt.

---

**Sonstiges / Miscellaneous**

Entfällt

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Gerd Scholl

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

gerd.scholl@hsu-hh.de

040/6541-3341

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

- Die Studierenden kennen die grundlegenden Methoden der drahtgebundenen und drahtlosen Informationsübertragung.
- Die Studierenden können den Unterschied zwischen klassischer IP-Kommunikation und industriellen Kommunikationsprozessen mit definiertem Echtzeitverhalten beschreiben und beurteilen.
- Die Studierenden kennen die grundlegenden Funktionalitäten einer industriellen Steuerung und deren Einbettung in ein Kommunikationsnetzwerk, insbesondere zur Steuerung Energietechnischer Anlagen. Sie können diese analysieren und bewerten.
- Die Studierenden sind in der Lage, einfache Automatisierungsaufgaben im Bereich der Energietechnik selbst zu verstehen und zu analysieren. Zudem können sie in selbständiger Bearbeitung Lösungen hierzu entwickeln.

**Inhalte / Content**

- Smart Grids & Kommunikation im Smart Grid
- Grundlagen drahtgebundener Kommunikation
- Speicherprogrammierbare Steuerungen
- IP-Kommunikation, Echtzeitfähige Feldbussysteme
- Sensor-2-Cloud Technologien (OPC-UA, Edge- und Cloud-Computing)
- Industrial Safety und Security
- Smart Metering
- Schutz- und Stationsleittechnik nach IEC 61850
- Rechen- und Laborübungen zu den genannten Themen.

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Industriekommunikation im Smart Grid	V	2	FT
Industriekommunikation im Smart Grid	Ü	1	FT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

- Vorlesung mit Laboraufbauten und Simulationsbeispielen
- Kombination von Rechen-, Labor-, und Programmierübungen

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

keine

**Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module**

---

**Arbeitsaufwand / Work Load**

Std. insgesamt			
Vorlesung Industriekommunikation im Smart Grid	12	2	24
Übung Industriekommunikation im Smart Grid	12	1	12
Vor- und Nachbereitung	12	2	24
Prüfungsvorbereitung			30
			90

---

**Prüfung und Benotung / Evaluation**

Das Modul wird mit einer Klausur (120 Minuten) oder einer mündlichen Prüfung beendet.

---

**Dauer in Trimestern / Duration of Module**

ein Trimester

---

**Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten / Registration**

Anmeldung im CMS

---

**Literatur / Bibliographical References and Course Material**

Skriptum mit Literaturangaben sowie Übungsaufgaben und Online/Video-Tutorials, bereitgestellt auf der Homepage der Professur und <https://ilias.hsu-hh>.

---

**Sonstiges / Miscellaneous**

Zugelassene Hilfsmittel bei der Klausur: Formelsammlung, doppelseitiges DIN A4 Blatt, handschriftlich beschrieben, nicht-programmierbarer Taschenrechner. Zudem werden in der Prüfung, falls benötigt, Integralformeln und statistische Tabellen bereitgestellt.

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

klaus.hoffmann@hsu-hh.de

040/6541-2853

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

Die im Rahmen der Leistungselektronik-Vorlesungen und -Rechenübungen erworbenen Kompetenzen werden mittels Laborübungen vertieft und gefestigt. Die Teilnehmer können Messmethoden und Messmittel der Leistungselektronik auswählen und zielgerichtet einsetzen. Ferner werden die Auswertung und Interpretation von Messgrößen leistungselektronischer Schaltungen vermittelt. Darüber hinaus wenden die Studierenden Methoden zur Fehlervermeidung und -suche innerhalb leistungselektronischer Laboraufbauten an.

**Inhalte / Content**

Einführungsvorlesung zu Grundlagen der netzgeführten Stromrichter:

- Ein-, Zwei- und Dreipuls-Schaltungen, Drehstrombrückenschaltung
- Kommutierung bei netzgeführten Stromrichtern

Inhalte in den Laborübungen:

- Netzgeführter Stromrichter in Zweipuls-Brückenschaltung
- Netzgeführter Stromrichter in Drehstrombrückenschaltung
- Gleichspannungswandler
- Untersuchung einer realen Leistungsdiode
- Doppelpuls-Methode zur Charakterisierung von Bauelementen
- Drehstrom-Wechselrichter

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Laborpraktikum Leistungselektronik	V	1	HT
Laborpraktikum Leistungselektronik	LÜ	3	HT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

Vorlesung und Laborübungen

### Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements

formal: Keine

inhaltlich: Kompetenzen aus dem Pflichtmodul LEK-B/Leistungselektronik für intelligente Netze

---

### Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module

PF in M.Sc. ENT + EEN

---

### Arbeitsaufwand / Work Load

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung zu Laborpraktikum Leistungselektronik	12	1	12
Laborübung zu Laborpraktikum Leistungselektronik	12	3	36
Vor- und Nachbereitung	12	4	48
Prüfungsvorbereitung			24
			120

---

### Prüfung und Benotung / Evaluation

Das Modul wird mit einer mündlichen Prüfung beendet.

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

klaus.hoffmann@hsu-hh.de

040/6541-2853

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

Die Kursteilnehmer können Stromrichter nach ihrer inneren und äußeren Wirkungsweise unterscheiden. Ferner sind die Studierenden befähigt, das Übertragungsverhalten von Umrichtern zu analysieren, mathematisch zu beschreiben und Methoden zur Bauteildimensionierung und Verlustleistungsbestimmung anzuwenden. Durch die erworbenen Kenntnisse können die Studierenden Stromrichter applikationsnah auslegen.

**Inhalte / Content**

Selbstgeführte Stromrichter:

- Gleichspannungswandler mit abschaltbaren Leistungshalbleitern in stationären und instationären Arbeitspunkten unter Berücksichtigung der verschiedenen Betriebsmodi
- Übertragungsverhalten und Steuerverfahren (Pulsweitenmodulation, Toleranzbandregelung)
- Gleichspannungswandler mit bidirektionalem Energiefluss
- Vollbrückentopologie mit modernen abschaltbaren Leistungshalbleitern im getakteten Wechselrichter- und Gleichrichterbetrieb
- dreiphasige Brückenschaltung mit modernen abschaltbaren Leistungshalbleitern
- Multi-Level-Wechselrichter und ihre Anwendungen
- Einführung in den Bereich der Schaltentlastungen von modernen Leistungshalbleitern (Zero-Current-Switching, Zero-Voltage-Switching, quasi-resonante Schaltentlastungen)

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Leistungselektronik für intelligente Netze	V	3	FT
Leistungselektronik für intelligente Netze	Ü	3	FT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

Vorlesung mit kombinierten Rechenübungen

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

keine

**Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module**

PF in M.Sc. EEN

**Arbeitsaufwand / Work Load**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung Leistungselektronik für intelligente Netze	12	3	36
Übung Leistungselektronik für intelligente Netze	12	3	36
Vor- und Nachbereitung	12	4	48
Prüfungsvorbereitung			60
			180

---

### **Prüfung und Benotung / Evaluation**

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (180 Minuten) beendet.

---

### **Dauer in Trimestern / Duration of Module**

ein Trimester

---

### **Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants**

unbegrenzt

---

### **Anmeldeformalitäten / Registration**

Anmeldung im CMS

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik

---

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

040/6541-0

---

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

In der Masterarbeit sollen die Studierenden zeigen, dass sie in der Lage sind, innerhalb einer vorgegebenen Frist eine Aufgabenstellung aus dem Bereich der erneuerbaren Energien und intelligenten Netze nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. Die erlernten Kenntnisse aus den vorangegangenen Modulen sollen dabei zielgerichtet praktisch angewandt und vertieft werden. In der Regel steht die Aufgabenstellung in Zusammenhang mit einem größeren Projekt, das durch den Betreuer an der jeweiligen Professur - häufig als Industriekooperation - bearbeitet wird. Der Schwierigkeitsgrad und der wissenschaftliche Anspruch der Masterarbeit gehen dabei über die Bachelor- und Studienarbeit hinaus.

Die fachspezifische Berufsqualifikation und Schlüsselkompetenzen sollen insbesondere gestärkt werden durch:

- Teamarbeit, da die Arbeit nicht allein steht, sondern Zuarbeit darstellt und Zuarbeiten, z.B. durch Hilfskräfte oder Laborpersonal erfordert;
  - Präsentationen über Zwischenstände und Ergebnis der Arbeit;
  - Schriftliche Ausdrucksfähigkeit durch die Erstellung einer Ausarbeitung;
  - Systematische Arbeitsweise durch Aufstellung, Abarbeitung und stetige Aktualisierung eines Meilensteinplans;
  - Studium englischer Fachliteratur.
- 

**Inhalte / Content**

Die Inhalte variieren je nach Aufgabenstellung und können u.a. Anteile aus folgenden Bereichen enthalten:

- Konzeptentwicklung für intelligente Netze
  - Entwicklung von Geräte- und Messtechnik in Netzen für regenerative Energien
  - Software-Erstellung für intelligente Netze
- 

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	P/W/WP	HT/FT/WT
Master-Arbeit			P	

---

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

selbständige wissenschaftliche Arbeit

---

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

Nachweis der bestandenen Studienarbeit

---

**Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module**

PF in M.Sc. EEN

---

**Arbeitsaufwand / Work Load**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges,
Master-Arbeit			900

---

### **Prüfung und Benotung / Evaluation**

Gemäß Prüfungsordnung.

Zulassungsvoraussetzung für die Übernahme der Abschlussarbeit: Nachweis der bestandenen Studienarbeit.

---

### **Dauer in Trimestern / Duration of Module**

Fristen sind der Prüfungsordnung geregelt.

---

### **Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants**

unbegrenzt

---

### **Anmeldeformalitäten / Registration**

gem. Prüfungsordnung

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

---

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

---

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

- Die Studenten können Kurzschlüsse in Netzen berechnen.
  - Die Teilnehmer können ihre erworbenen Kenntnisse bei der Betriebsführung von konventionellen und intelligenten Netzen verwenden.
  - Die Studenten sind in der Lage, intelligente Netze als Instrument zur Realisierung eines erzeugungsgerechten Energieverbrauchs einzusetzen.
  - Es werden Fertigkeiten zur eigenständigen Lösung von Dimensionierungsaufgaben bei Stromnetzen erworben.
- 

**Inhalte / Content**

Dreipoliger Kurzschluss:

- Generatorferner Kurzschluss:  
Berechnung in unverzweigten und verzweigten Netzen, Berechnung bei mehreren Netzeinspeisungen, Modellierung und Lösungsmethodik mit dem Verfahren der Ersatzspannungsquelle
- Generatornaher Kurzschluss:  
Netzmodellierung, Berechnung des Anfangskurzschlusswechselstroms, Berechnung des Stoßkurzschlussstroms, Ermittlung des Kurzschlussausschaltstroms, Berücksichtigung von Netzkapazitäten und Mischlasten

Auslegung von Netzen gegen Kurzschluss und Auslegung von Schaltern:

- Lichtbogenkurzschlüsse
- mechanische Kurzschlussfestigkeit
- thermische Kurzschlussfestigkeit
- Beeinflussung der Kurzschlussleistung
- Auswirkungen von Kurzschlüssen
- Auslegung von Schaltern

Betriebsführung und Planung von Netzen

- klassische Netze
- intelligente Netze zur Realisierung eines erzeugungsgerechten Energieverbrauchs
- virtuelle Kraftwerke und Energiespeicher
- Verbrauchermanagement

Berechnung unsymmetrisch gespeister Drehstromnetze mit symmetrischem Aufbau:

- Methode der symmetrischen Komponenten

Berechnung von Drehstromnetzen mit symmetrischen Betriebsmitteln und punktuellen unsymmetrischen Fehlern

Sternpunktbehandlung in Energieversorgungsnetzen

Maßnahmen zum Schutz von Menschen und Tieren

---

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Netzbetrieb und intelligente Netze	V	2	HT
Netzbetrieb und intelligente Netze	Ü	2	HT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

Vorlesung, Übung

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

keine

**Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module**

PF in M.Sc. EEN

**Arbeitsaufwand / Work Load**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung	12	2	24
Übung	12	2	24
Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	12	4	48
Prüfungsvorbereitung	2	27	54
			150

**Prüfung und Benotung / Evaluation**

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) beendet.

**Dauer in Trimestern / Duration of Module**

ein Trimester

**Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants**

unbegrenzt

**Anmeldeformalitäten / Registration**

Anmeldung im CMS

**Literatur / Bibliographical References and Course Material**

Heuck/Dettmann/Schulz: Elektrische Energieversorgung, Vieweg-Verlag

Zusatzmaterial wird in der Lehrveranstaltung zur Verfügung gestellt.

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Joachim Horn

---

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

Joachim.Horn@hsu-hh.de

040/6541-3593

---

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

Die Studierenden werden befähigt, grundlegende Methoden zur Analyse und Synthese nichtlinearer Regelungssysteme anzuwenden.

---

**Inhalte / Content**

**1. Grundbegriffe nichtlinearer Systeme**

- 1.1 Struktur nichtlinearer Systeme
- 1.2 Häufig auftretende Kennlinien
- 1.3 Ruhelagen dynamischer Systeme
- 1.4 Stabilitätsverhalten der Ruhelagen eines nichtlinearen Systems

**2. Harmonische Balance**

- 2.1 Die Definition der Beschreibungsfunktion und die Gleichung der Harmonischen Balance
- 2.2 Lösung der Gleichung der Harmonischen Balance
- 2.3 Berechnung der Beschreibungsfunktion
- 2.4 Ein Beispiel zur Lösung der Gleichung der Harmonischen Balance
- 2.5 Stabilitätsverhalten von Dauerschwingungen
- 2.6 Zusammenhang zwischen dem Stabilitätsverhalten der Dauerschwingung und dem Stabilitätsverhalten der Ruhelage
- 2.7 Regelkreise mit mehreren Kennlinien
- 2.8 Anwendung der Harmonischen Balance auf Schwingungsprobleme

**3. Popow-Kriterium**

- 3.1 Absolute Stabilität von Regelkreisen
- 3.2 Formulierung und Anwendung des Popow-Kriteriums
- 3.3 Erweiterungen des Popow-Kriteriums
  - 3.3.1 Verallgemeinerung des Sektors
  - 3.3.2  $K=+\infty$
  - 3.3.3 Lineares Teilsystem mit Totzeit
- 3.4 Grenzen des Popow-Kriteriums

**4. Anwendung der Zustandsebene**

- 4.1 Systeme 2. Ordnung mit Relaiskennlinie
- 4.2 Auftreten von Grenzzyklen
- 4.3 Strukturumschaltung (Parametersteuerung) von Reglern
- 4.4 Totzeitsysteme in der Zustandsebene
- 4.5 Zeitoptimale Regelung in der Zustandsebene

**5. Direkte Methode**

- 5.1 Grundgedanke und Stabilitätskriterien
- 5.2 Konstruktion von Ljapunow-Funktionen
- 5.3 Methode der ersten Näherung

**6. Synthese nichtlinearer Systeme im Zustandsraum**

- 6.1 Entwurf nichtlinearer Eingrößensysteme durch Kompensation ("globale" oder "exakte" Linearisierung)
  - 6.1.1 Struktur des nichtlinearen Systems

6.1.2 Begriff der Differenzordnung

6.1.3 Reglerentwurf

6.2 Entwurf nichtlinearer Mehrgrößensysteme durch Kompensation und Entkopplung

---

### Modulbestandteile / Composition of Module

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Nichtlineare Regelungen	V	2	FT
Nichtlineare Regelungen	Ü	1	FT

---

### Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods

Die Vorlesung basiert auf einem Tafelanschrieb, aufwändige Diagramme und Bilder werden als Folie gezeigt. Die Übung findet als Hörsaalübung statt.

---

### Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements

keine

---

### Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module

PF in M.Sc. EEN

---

### Arbeitsaufwand / Work Load

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung	12	2	24
Übung	12	1	12
Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	12	3	36
Prüfungsvorbereitung			48
			120

---

### Prüfung und Benotung / Evaluation

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) beendet.

---

### Dauer in Trimestern / Duration of Module

ein Trimester

---

### Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants

35

---

### Anmeldeformalitäten / Registration

Anmeldung im CMS

---

## **Literatur / Bibliographical References and Course Material**

Adamy: Nichtlineare Regelungen.

Föllinger: Nichtlineare Regelungen. Band I und Band II.

Slotine, Li: Applied Nonlinear Control.

Ein Skript, die Übungsaufgaben und eine Sammlung alter Klausuren werden auf der Homepage der Professur Regelungstechnik zur Verfügung gestellt.

---

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

- Fertigkeiten zur Anwendung von Grundlagen der Netzkopplung
- Fähigkeiten zur Lösung von Problemen beim Netzparallelbetrieb
- Fähigkeiten zu systematischem Vorgehen bei der Planung eines Netzanschlusses
- Fertigkeiten zur Realisierung eines erzeugungsgerechten Energieverbrauchs
- Fähigkeiten, eigenständig Netzsimulationen mit den wichtigsten Programmsystemen durchzuführen

**Inhalte / Content**

Stand der Technik:

- Offshore- und Onshore-Windenergieanlagen
- Generatortypen
- Windparknetze
- Photovoltaikanlagen

Grundlagen des Netzparallelbetriebs:

- Anforderungen bei der Netzanbindung und im Netzparallelbetrieb
- direkte und leistungselektronische Netzkopplungen, Synchronisation
- Leistungsbegriffe
- Leistungsregelung: Theorie, Wirk- und Blindleistungsregelung
- Systemdienstleistungen

Probleme im Netzbetrieb:

- Herausforderungen durch Erneuerbare Energien mit fluktuierender Energieeinspeisung
- Lösungsmöglichkeiten für eine Energieversorgung mit hohem Ausbau Erneuerbarer Energien
- Netzurückwirkungen: Harmonische, Flicker, Spannungseinbrüche
- Einfluss der Netzimpedanz
- Einfluss der Netzstruktur

Erzeugungsgerechter Energieverbrauch:

- virtuelle Kraftwerke
- Energiespeicher, virtuelle Speicher
- Verbrauchermanagement

Normen und Richtlinien für den Netzparallelbetrieb:

- Gesetze
- VDE-Normen
- technische Richtlinien

Methodik zur Erfüllung der Netzanschlussrichtlinien:

- Netzmesstechnik
- Simulation von Netzen: Grundlagen der Simulationsverfahren, wichtige Simulationsprogrammsysteme (Schwerpunkt der Übungen)

Zukünftige Entwicklung und neue Technologien in der elektrischen Energieversorgung

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
----------	--------	-----	----------

Regenerative Energiesysteme im Netzparallelbetrieb	V	2	HT
Regenerative Energiesysteme im Netzparallelbetrieb	Ü	2	HT

### Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods

Vorlesung, Übung, Laborversuche, Simulationsrechnungen im PC-Labor

### Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements

keine

### Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module

PF in M.Sc. EEN

### Arbeitsaufwand / Work Load

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung	12	2	24
Übung	12	2	24
Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	12	4	48
Prüfungsvorbereitung	2	27	54
			150

### Prüfung und Benotung / Evaluation

Das Modul wird mit einer Abschlussklausur (120 Minuten) beendet.

### Dauer in Trimestern / Duration of Module

ein Trimester

### Teilnehmer(innen)zahl / Number of Participants

unbegrenzt

### Anmeldeformalitäten / Registration

Anmeldung im CMS

### Literatur / Bibliographical References and Course Material

Heuck/Dettmann/Schulz: Elektrische Energieversorgung, Vieweg-Verlag

Schulz: Netzzrückwirkungen, Band 115, VDE-Verlag

Zusatzmaterial wird in der Lehrveranstaltung zur Verfügung gestellt.

**Modulverantwortlicher / Contact Person**

Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik

---

**E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen / Email/Phone**

040/6541-0

---

**Qualifikationsziel / Module Objectives and Competencies**

In der Studienarbeit sollen die Studierenden zeigen, dass sie in der Lage sind, innerhalb einer vorgegebenen Frist eine Aufgabenstellung aus dem Bereich der erneuerbaren Energien und intelligenten Netze nach wissenschaftlichen Methoden zu bearbeiten. Die erlernten Kenntnisse aus den vorangegangenen Modulen sollen dabei zielgerichtet praktisch angewandt und vertieft werden. In der Regel steht die Aufgabenstellung in Zusammenhang mit einem größeren Projekt, das durch den Betreuer an der jeweiligen Professur - häufig als Industriekooperation - bearbeitet wird.

Der Schwierigkeitsgrad und der wissenschaftliche Anspruch der Studienarbeit gehen dabei über die Bachelor-Arbeit hinaus.

Die fachspezifische Berufsqualifikation und Schlüsselkompetenzen sollen insbesondere gestärkt werden durch:

- Teamarbeit, da die Arbeit nicht allein steht, sondern Zuarbeit darstellt und Zuarbeiten, z.B. durch Hilfskräfte oder Laborpersonal erfordert;
  - Präsentationen über Zwischenstände und Ergebnis der Arbeit;
  - Schriftliche Ausdrucksfähigkeit durch die Erstellung einer Ausarbeitung;
  - Systematische Arbeitsweise durch Aufstellung, Abarbeitung und stetige Aktualisierung eines Meilensteinplans;
  - Studium englischer Fachliteratur.
- 

**Inhalte / Content**

Die Inhalte variieren je nach Aufgabenstellung und können u.a. Anteile aus folgenden Bereichen enthalten:

- Theorie
  - Aufbau und Vermessung von energietechnischen Einrichtungen
  - Software-Erstellung.
- 

**Modulbestandteile / Composition of Module**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/FT/WT
Studienarbeit			

---

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen / Teaching and Learning Methods**

selbständige wissenschaftliche Arbeit

---

**Voraussetzungen für die Teilnahme / Requirements**

keine

---

**Verwendbarkeit des Moduls / Usability of Module**

P in EEN

---

**Arbeitsaufwand / Work Load**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Studienarbeit			300

**Prüfung und Benotung / Evaluation**

Projektarbeit.

---