

## Modulhandbuch

### Master Erneuerbare Energien und intelligente Netze

# Inhaltsverzeichnis

Betriebssysteme und Rechnernetze .....	4
Elektrische Energieversorgung .....	6
Grundlagen der elektrischen Maschinen und Antriebe .....	8
Grundlagen der Hochspannungstechnik .....	10
Grundlagen der Leistungselektronik .....	12
Leistungselektronik für intelligente Netze .....	14
Masterarbeit .....	17
Messtechnik für intelligente Netze .....	19
Netzbetrieb und intelligente Netze .....	21
Nichtlineare Regelungen .....	23
Regenerative Energiesysteme im Netzparallelbetrieb .....	26
Studienarbeit .....	28

# Modulübersicht

<b>Titel</b>	<b>engl. Titel</b>	<b>LP</b>	<b>Verantwortlicher</b>	<b>Verwendbarkeit</b>	<b>Seite</b>
Betriebssysteme und Rechneretze	Operating Systems and Computer Networks	9	Prof. Dr. Bernd Klauer	P in EEN, INI	4
Elektrische Energieversorgung	Electrical Power Supply	6	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	P in EEN	6
Grundlagen der elektrischen Maschinen und Antriebe	Fundamentals of Electromechanical Power Conversion	7	Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Bolte	P in EEN, ENT	8
Grundlagen der Hochspannungstechnik	Introduction to High-Voltage Technology	3	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	P in EEN, ENT	10
Grundlagen der Leistungselektronik	Fundamentals of Power Electronics	4	Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann	P in EEN	12
Leistungselektronik für intelligente Netze	Power Electronics for Intelligent Networks	8	Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann	P in EEN	14
Masterarbeit	Masterarbeit	30	Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik	P in EEN	17
Messtechnik für intelligente Netze	Measurement Techniques for Intelligent Networks	3	Prof. Dr.-Ing. Gerd Scholl	P in EEN	19
Netzbetrieb und intelligente Netze	Grid Operation and Intelligent Networks	5	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	P in EEN	21
Nichtlineare Regelungen	Nonlinear Control	4	Prof. Dr.-Ing. Joachim Horn	P in ENT, EEN WP in INT, INI	23
Regenerative Energiesysteme im Netzparallelbetrieb	Regenerative Energy Systems in Grid-Connected Operation	5	Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz	P in EEN WP in ENT	26
Studienarbeit	Student Research Project	12	Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik	P in EEN	28

**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr. Bernd Klauer

---

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

bernd.klauer@hsu-hh.de

040 / 6541-3380

---

**Qualifikationsziel**

- Befähigung zum Entwurf und Einrichtung von Rechnernetzen
  - Befähigung zur Auswahl, Einrichtung, Administration und Nutzung von Betriebssystemen
- 

**Inhalte**

**Betriebssysteme**

- Klassifikation
- Bestandteile
- Oberflächen
- Der Betriebssystemkern
- Ablaufplanung, Paradigmen und Methoden
- Interaktion mit der Hardware
- Interaktion mit der Anwendung
- Geräteverwaltung
- Speicherhierarchie
- Speicherverwaltung
- Nutzerverwaltung

**Rechnernetze**

- Grundlagen
- 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

**Übergreifende Behandlung**

- Das Rechnernetz als Betriebssystemressource
- Betriebssysteme in Rechnernetzen
- Ein minimales Client/Server-Paar (Programmierübung)
- Protokollstudien in den TCP/IP-Ebenen

**IT-Sicherheit**

- Grundlagen und Terminologie
  - Betriebssysteme und Anwendungen im Netz
- 

**Modulbestandteile**

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

Betriebssysteme	V	2	WT
Betriebssysteme	Ü	2	WT
Rechnernetze	V	2	HT
Rechnernetze	Ü	2	HT

---

### Beschreibung der Lehr- und Lernformen

Vorlesung mit Übung

---

### Voraussetzungen für die Teilnahme

keine

---

### Verwendbarkeit des Moduls

P in EEN, INI

---

### Arbeitsaufwand

	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	26	78
			270

---

### Prüfung und Benotung

Klausur (2h)

Erlaubte Hilfsmittel: keine

---

### Dauer in Trimestern

zwei Trimester

---

### Teilnehmer(innen)zahl

unbegrenzt

---

### Anmeldeformalitäten

Anmeldung im CMS

---

### Literatur

Andrew S. Tanenbaum: Moderne Betriebssysteme, aktuelle Auflage, Pearson Studium

---

**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

---

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

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

---

**Qualifikationsziel**

- 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**

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**

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**

Vorlesung, Übung

---

## Voraussetzungen für die Teilnahme

keine

---

## Verwendbarkeit des Moduls

P in EEN

---

## Arbeitsaufwand

	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

Klausur (2h)

Erlaubte Hilfsmittel:

Fragenteil: keine

Aufgabenteil: 2 handschriftliche DIN-A4-Seiten, nicht programmierbarer Taschenrechner

---

## Dauer in Trimestern

zwei Trimester

---

## Teilnehmer(innen)zahl

unbegrenzt

---

## Anmeldeformalitäten

Anmeldung im CMS

---

## Literatur

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

Zusatzmaterial wird in der Lehrveranstaltung zur Verfügung gestellt

---

## Sonstiges

---

**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Bolte

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

ekkehard.bolte@hsu-hh.de

040/6541-2751

**Qualifikationsziel**

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

**Inhalte**

- 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**

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**

Vorlesung mit Demonstrationen/Experimenten, z. T. Rechneranimation

Übung mit aktiver Einbeziehung der Studenten und Lernfortschrittskontrolle

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

keine



## Verwendbarkeit des Moduls

P in EEN, ENT

---

### Arbeitsaufwand

	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

Klausur (3 h)

Zulassungsvoraussetzung: keine

---

### Dauer in Trimestern

ein Trimester

---

### Teilnehmer(innen)zahl

unbegrenzt

---

### Anmeldeformalitäten

Anmeldung im CMS

---

### Literatur

1. Skriptum und Arbeitsblätter verfügbar auf der Homepage der Professur
  2. Ekkehard Bolte, Elektrische Maschinen, Springer 2011
-

**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

---

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

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

---

**Qualifikationsziel**

- 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**

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**

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**

Vorlesung, Übung

---

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

keine

---

**Verwendbarkeit des Moduls**

P in EEN, ENT

---

**Arbeitsaufwand**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung	12	2	24
Übung	12	1	12
Vor- und Nachbereitung der Lehrveranstaltung	12	3	36
Prüfungsvorbereitung <sup>1</sup>		18	18
			90

---

**Prüfung und Benotung**

Klausur (2h)

Erlaubte Hilfsmittel:

Fragenteil: keine

Aufgabenteil: 2 handschriftliche DIN-A4-Seiten, nicht programmierbarer Taschenrechner

---

**Dauer in Trimestern**

ein Trimester

---

**Teilnehmer(innen)zahl**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten**

Anmeldung im CMS

---

**Literatur**

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

Zusatzmaterial wird in der Lehrveranstaltung zur Verfügung gestellt.

---

**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann

---

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

klaus.hoffmann@hsu-hh.de

040/6541-2853

---

**Qualifikationsziel**

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**

- 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**

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**

Vorlesung mit kombinierten Rechenübungen

---

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

Keine

---

**Verwendbarkeit des Moduls**

P in EEN

---

---

**Arbeitsaufwand**

	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**

Klausur (2h)

Erlaubte Hilfsmittel:

Im Fragenteil: Nicht programmierbarer Taschenrechner

Im Rechenteil: Nicht programmierbarer Taschenrechner sowie eine gut lesbare, handschriftlich erstellte Formelsammlung über maximal zwei Seiten.

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**

ein Trimester

---

**Teilnehmer(innen)zahl**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten**

Anmeldung im CMS

---

**Literatur**

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

---

**Sonstiges**

Entfällt

---

**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Klaus F. Hoffmann

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

klaus.hoffmann@hsu-hh.de

040/6541-2853

**Qualifikationsziel**

Die Kursteilnehmer können Stromrichter nach ihrer inneren und äußeren Wirkungsweise unterscheiden. Ferner sind die Studierenden befähigt, das Übertragungsverhalten von Umrichtern zu analysieren und Methoden zur Bauteildimensionierung und Verlustleistungsbestimmung anzuwenden. Das im Rahmen der Vorlesungen und Übungen erlangte Wissen wird mittels Laborübungen vertieft und gefestigt. Die Teilnehmer können Messmethoden und Messmittel der Leistungselektronik auswählen und einsetzen. Ferner wird die Auswertung und Interpretation von Messgrößen leistungselektronischer Schaltungen vermittelt.

**Inhalte**

Selbstgeführte Stromrichter:

- Gleichspannungswandler mit abschaltbaren Leistungshalbleitern im stationären und instationären Betrieb
- 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)

Einführung in netzgeführte Stromrichter:

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

Inhalte in den Laborübungen:

- Netzgeführter Stromrichter in Zweipuls-Brückenschaltung
- Netzgeführter Stromrichter in Drehstrombrückenschaltung
- Gleichstrom-Tiefsetzsteller (Buck-Converter)
- Untersuchung einer realen Leistungsdiode
- Moderne Energiesparlampe
- Drehstrom-Wechselrichter

**Modulbestandteile**

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

---

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen**

Vorlesung mit kombinierten Rechenübungen im Frühjahstrimester und Laborübungen im Herbsttrimester

---

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

Keine

---

**Verwendbarkeit des Moduls**

P in EEN

---

**Arbeitsaufwand**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Vorlesung im FT Leistungselektronik für intelligente Netze	12	3	36
Übung im FT Leistungselektronik für intelligente Netze	12	3	36
Vor- und Nachbereitung im FT	12	3	36
Laborübungen im HT	12	3	36
Vor- und Nachbereitung der Laborübungen im HT	12	4	48
Prüfungsvorbereitung			48
			240

---

**Prüfung und Benotung**

Klausur (3h)

Erlaubte Hilfsmittel:

Im Fragenteil: Nicht programmierbarer Taschenrechner

Im Rechenteil: Nicht programmierbarer Taschenrechner sowie eine gut lesbare, handschriftlich erstellte Formelsammlung über maximal zwei Seiten.

Bei der Bewertung der schriftlichen Prüfung werden Vorleistungen, die studienbegleitend erbracht wurden, durch einen Punktebonus von bis zu 18% der in der schriftlichen Prüfung erreichbaren Punkte berücksichtigt. Die Vorleistungen können je zur Hälfte durch erfolgreiche Teilnahme an den Rechenübungen und den Laborübungen erbracht werden.

---

**Dauer in Trimestern**

zwei Trimester

---

**Teilnehmer(innen)zahl**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten**

Anmeldung im CMS

---

## **Literatur**

Hilfsblätter, Laborunterlagen und Literaturhinweise werden im Rahmen der Vorlesung vorgestellt und ausgeteilt

---

## **Sonstiges**

Entfällt

---



**Modulverantwortlicher**

Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik

---

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

040/6541-0

---

**Qualifikationsziel**

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**

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**

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

---

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen**

selbständige wissenschaftliche Arbeit

---

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

Nachweis der bestandenen Studienarbeit

---

**Verwendbarkeit des Moduls**

P in EEN

---

**Arbeitsaufwand**

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

---

**Prüfung und Benotung**

gem. Prüfungsordnung

---

**Dauer in Trimestern**

Fristen sind der Prüfungsordnung geregelt.

---

**Teilnehmer(innen)zahl**


unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten**

gem. Prüfungsordnung

---



**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Gerd Scholl

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

gerd.scholl@hsu-hh.de

040/6541-3341

**Qualifikationsziel**

- Grundlagen moderner Sensor- und Informationstechnik zur Steuerung/Regelung intelligenter Netze
- Auslegung von Sensor- und Informationssystemen für Anwendungen in der Energietechnik

**Inhalte**

- Drahtgebundene Informationsübertragung
- Powerline Communication
- Drahtlose Informationsübertragung
- Smart Metering
- Industrielle Bussysteme
- IP-Kommunikation Internet Measurement

**Modulbestandteile**

LV-Titel	LV-Art	TWS	HT/WT/FT
Messtechnik für intelligente Netze	V	2	FT
Messtechnik für intelligente Netze	Ü	1	FT

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen**

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

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

keine

**Verwendbarkeit des Moduls**

P in EEN

**Arbeitsaufwand**

Std. insgesamt			
Vorlesung Messtechnik für intelligente Netze	12	2	24
Übung Messtechnik für intelligente Netze	12	1	12

Vor- und Nachbereitung	12	2	24
Prüfungsvorbereitung			30
			90

---

**Prüfung und Benotung**

Klausur oder Mündliche Prüfung

---

**Dauer in Trimestern**

1 Trimester

---

**Teilnehmer(innen)zahl**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten**

Anmeldung im CMS

---

**Literatur**

Skriptum mit Literaturangaben vorhanden auf der Homepage der Professur.  
Übungsaufgabensammlung auf der Homepage der Professur.

---

**Sonstiges**

---

---



### **Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

---

### **E-Mail-Adresse / Telefonnummer des Modulverantwortlichen**

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

---

### **Qualifikationsziel**

- 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**

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

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

Vorlesung, Übung

## Voraussetzungen für die Teilnahme

keine

## Verwendbarkeit des Moduls

P in EEN

## Arbeitsaufwand

	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

Klausur (2h)

Erlaubte Hilfsmittel:

Fragenteil: keine

Aufgabenteil: 2 handschriftliche DIN-A4-Seiten, nicht programmierbarer Taschenrechner

## Dauer in Trimestern

ein Trimester

## Teilnehmer(innen)zahl

unbegrenzt

## Anmeldeformalitäten

Anmeldung im CMS

## Literatur

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

Zusatzmaterial wird in der Lehrveranstaltung zur Verfügung gestellt.

**Modulverantwortlicher**

Prof. Dr.-Ing. Joachim Horn

---

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

Joachim.Horn@hsu-hh.de

040/6541-3593

---

**Qualifikationsziel**

Die Studierenden beherrschen grundlegende Methoden zur Analyse und Synthese nichtlinearer Regelungssysteme.

---

**Inhalte**

**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

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

---

### Beschreibung der Lehr- und Lernformen

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

---

### Voraussetzungen für die Teilnahme

keine

---

### Verwendbarkeit des Moduls

P in ENT, EEN

WP in INT, INI

---

### Arbeitsaufwand

	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

Klausur (2h)

Erlaubte Hilfsmittel: Skript, alte Klausuren, Bücher, eigene Mitschriften, nicht programmierbarer Taschenrechner

---

### Dauer in Trimestern

ein Trimester

---

### Teilnehmer(innen)zahl



---

**Anmeldeformalitäten**

Anmeldung im CMS

---

**Literatur**

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**

Prof. Dr.-Ing. Detlef Schulz

---

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

detlef.schulz@hsu-hh.de

040/6541-2757

---

**Qualifikationsziel**

- 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**

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**

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

Vorlesung, Übung, Laborversuche, Simulationsrechnungen im PC-Labor

### Voraussetzungen für die Teilnahme

keine

### Verwendbarkeit des Moduls

P in EEN

WP in ENT

### Arbeitsaufwand

	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

Klausur (2h)

Erlaubte Hilfsmittel: nicht programmierbarer Taschenrechner

### Dauer in Trimestern

ein Trimester

### Teilnehmer(innen)zahl

unbegrenzt

### Anmeldeformalitäten

Anmeldung im CMS

### Literatur

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

Schulz: Netzurückwirkungen, Band 115, VDE-Verlag

Zusatzmaterial wird in der Lehrveranstaltung zur Verfügung gestellt.

**Modulverantwortlicher**

Die Professoren der Fakultät für Elektrotechnik

---

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

040/6541-0

---

**Qualifikationsziel**

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**

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**

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

---

**Beschreibung der Lehr- und Lernformen**

selbständige wissenschaftliche Arbeit

---

**Voraussetzungen für die Teilnahme**

keine

---

**Verwendbarkeit des Moduls**

P in EEN

---

**Arbeitsaufwand**

	Wochen	Std./Woche	Std. insges.
Studienarbeit			360

---

**Prüfung und Benotung**

Auf Basis der schriftlichen Ausarbeitung und eines Kolloquiums über die Ergebnisse der Arbeit wird die Note ermittelt.

---

**Dauer in Trimestern**

Fristen sind in der Prüfungsordnung geregelt.

---

**Teilnehmer(innen)zahl**

unbegrenzt

---

**Anmeldeformalitäten**

gem. Prüfungsordnung

---

