

Studienmodell 9 Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik



Modellberatung

Dr.-Ing. Bernd Hoferer (IEH)

Einleitung

- Beschreibung des Studienmodells 9
„Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik“
- Forschung am IEH

Modellplan

Beschreibung der Vorlesungen

- Elektrische Energienetze
- Energieübertragung und Netzregelung
- Hochspannungstechnik
- Hochspannungsprüftechnik
- Energietechnisches Praktikum



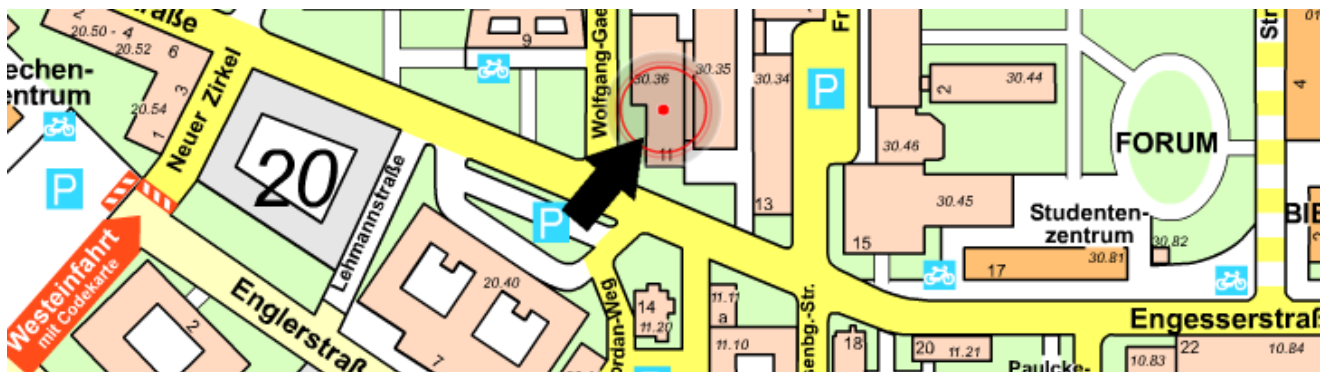
Anschrift der Modellberater

Dr.-Ing. Bernd Hoferer
Institut für Elektroenergiesysteme
und Hochspannungstechnik (IEH)
Engesserstr. 11, Geb. 30.36
D-76131 Karlsruhe

Tel: 0721 608-43062

Email: bernd.hoferer@kit.edu

Link: http://www.ieh.kit.edu/mitarbeiter_hoferer.php



Studienmodell 9 Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik

Deutschland will weltweit Vorreiter in Sachen Erneuerbare Energie werden. Die Ziele der Energiewende sind ambitioniert und sollen den CO₂-Ausstoß drastisch senken, einmal durch den effizienteren Umgang mit Energie und zum anderen durch deutlich verstärkte Nutzung regenerativer Energien. Hinzu kommt - zumindest in Deutschland - die Abkehr von der Kernenergie. Dieser Wandel betrifft nicht nur die Energieerzeugung sondern insbesondere auch die Energienetze und damit vor allem das Stromnetz, aber auch das Gasnetz. Lösungen, an denen die Forschung derzeit arbeitet sind neue Speichertechnologien und deren Energiemanagement, die Entwicklung der Elektromobilität und die Anpassung der Netze an die neuen Anforderungen. Hierbei geht es um die intelligente Betriebsführung (Management) der Verteilnetze und um neue Technologien im Übertragungsnetz. Zu letzterem gehört insbesondere der Ausbau einzelnen HVDC-Verbindungen (HVDC = Hochspannungsgleichstrom) zu einem Gleichstromnetz. Ein HVDC-Netz gibt es bis heute noch nicht und ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Gleiches gilt für die Kopplung des Stromnetzes mit dem Gasnetz und dem Wärmenetz (Nah- und Fernwärmenetz). Durch diese sogenannte Sektorenkopplung kann man eine erhebliche Flexibilisierung der Energieversorgung erreichen. Aufgrund dieser vielfältigen Aufgaben ist die Nachfrage nach gut ausgebildeten Ingenieuren der elektrischen Energietechnik enorm - sowohl seitens der Industrie als auch der Energieversorgungsunternehmen. Aufgrund der umfassenden Neuorganisation der elektrischen Energieversorgung vom Ersatz älterer Kraftwerke durch neue Anlagen, insbesondere auch dezentraler Kleinkraftwerke, über die Einbindung von Speichern in Form der Batterien verschiedenster Art und Größe bis hin zu flexiblen Endverbrauchern bieten sich dem Ingenieur der Energietechnik neue Herausforderungen und Gestaltungsmöglichkeiten.

Der Begriff „Elektroenergiesysteme“ umfasst dabei alle zur Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie notwendigen Anlagen und Komponenten. Das reicht von Einzelkomponenten wie z. B. den Netzbetriebsmitteln (Transformatoren, Kabelsysteme oder Frequenzumrichter) über moderne Anlagen zur Steuerung der Leistungsflüsse in elektrischen Netzen auf der Basis von Leistungshalbleiterbauelementen (Flexible AC Transmission Systems, FACTS und HVDC-Übertragungssysteme) bis hin zur Optimierung des gesamten Energiesystems, z. B. durch Betrachtung des elektrischen Energienetzes und des Gasnetzes als eine Einheit. Das Aufgabenfeld der Elektroenergie-Ingenieure reicht von der Grundlagenentwicklung neuer Technologien und Konzepte, z. B. neuer Schaltungs- oder Regelungskonzepte für HVDC-Anlagen über die Entwicklung neuer technischer Lösungen, z. B. DC-Leistungsschalter, bis hin Optimierung des Netzbetriebs z. B. durch Sektorenkopplung unter der Randbedingung der Wirtschaftlichkeit durch neuartige Algorithmen.

Derzeit findet ein Umbruch der elektrischen Energieversorgung statt. An vielen Stellen wird Neuland betreten, was gerade jungen und gut ausgebildeten, hoch motivierten Ingenieuren eine interessante Arbeit und darüber hinaus die Chance zur Gestaltung unserer Zukunft Arbeit bietet. Deutschland hat in vielen Bereichen der elektrischen Energietechnik die Technologieführerschaft. Oft werden große Projekte im internationalen Rahmen bearbeitet, was exzellente Chancen für entsprechend qualifizierte Ingenieure im In- und Ausland mit sich bringt.

Um dieser Vielfalt an beruflichen Möglichkeiten gerecht werden zu können, legt das Modell „Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik“ durch das vernetzende Fach zunächst eine breite Wissensbasis: „Numerische Methoden“, „Optimization of Dynamic Systems“ und „Messtechnik“. Die Spezialisierung (Vertiefungsbereich) im Bereich der elektrischen Energienetze erfolgt durch die Vorlesungen „Berechnung elektrischer Energienetze“, „Energieübertragung und Netzregelung“, „Hochspannungstechnik“ und „Hochspannungsprüftechnik“ sowie „Leistungselektronik“ und „Hochleistungsstromrichter“. Die Energiewirtschaft spielt in diesem fachlichen Kontext eine gewisse Rolle, dies wird in der Vorlesung „Einführung in die Energiewirtschaft“ vermittelt. Ergänzt wird dieser Fächerkanon durch das Energietechnische Praktikum, welches gemeinsam vom IEH und dem ETI veranstaltet wird. Im Sinne einer breiten Ausbildung ist es empfehlenswert, sich im Wahlfachbereich thematisch nicht zu sehr einzugrenzen. Energietechnik-Ingenieure sollten auf ein breites Wissen auch aus anderen Fachgebieten verfügen, dazu kann der Wahlfachbereich in idealer Weise genutzt werden.

Forschung am IEH

Das IEH widmet sich in der Forschung den zur Übertragung und Verteilung elektrischer Energie notwendigen Anlagen, Systemen und Komponenten. Die Forschungsarbeiten lassen sich grob in die Bereiche „Transportnetz“, „Verteilnetz“ und „Komponenten“ aufteilen. Im Bereich „Transportnetz“ geht es um die Betriebsführung des HVAC-Netzes und von HVDC-Übertragungssystemen sowie um das Design und die Betriebsführung eines dem Drehstromnetz überlagerten Hochspannungsgleichstromnetzes (HVDC-Netz). Hier sollen neue Ansätze untersucht werden, wie z. B. eine Abkehr von der strikten Vorgabe der Netzfrequenz von 50Hz, sondern die Aufweitung zu einem Frequenzbereich, in dem sich die Netzfrequenz bewegen kann. Weiterhin werden sogenannte netzbildende Umrichterregelungen entwickelt und an einem Prüfstand erprobt. Diese sind in der Lage, Momentanreserve bereitzustellen – eine Aufgabe, die bislang die Synchrongeneratoren großer thermischer Kraftwerke übernehmen. Im Bereich „Verteilnetz“ werden die Integration von Speichersystemen und die Sektorenkopplung, also die Kopplung zwischen Strom-, Gas- und Wärmenetz untersucht. Hierzu wird das Gebäude 30.36 zu einem „Smart Energy Office Building, SEOB“ umgebaut. Zur Ausrüstung des SEOB gehören ein Elektrolyseur, ein Wasserstoffspeicher, eine Brennstoffzelle, verschiedene stationäre Batteriespeicher, ein rückspeisefähiges Elektrofahrzeug und PV-Anlagen auf der Erzeugungs- und Speicherseite. Auf der Lastseite stehen neben der Werkstatt des IEH insbesondere die Labore und die Büros, von denen jeweils die konsumierte elektrische Leistung gemessen wird. Denkbar ist auch eine Steuerung von bestimmten Versuchen auf Basis des Energieangebotes. Letztlich geht es um die Frage, wie ein optimaler wirtschaftlicher Betrieb in einem typischen Bürogebäude mit Laboren erreicht werden kann. Damit soll auch der Ansatz, das KIT rein regenerativ zu versorgen, unterstützt werden.

Die Ausgestaltung des Studienmodells erfolgt über die Zusammensetzung des Wahlbereichs. Die Zusammenstellung der Wahlfächer ist in einem vom Modellberater der Vertiefungsrichtung zu genehmigenden individuellen Studienplan festzuhalten. Der Modellplan gliedert sich in feste und wählbare Module. Die wählbaren Module sind in Absprache mit dem Modellberater auszuwählen.

Modellplan:

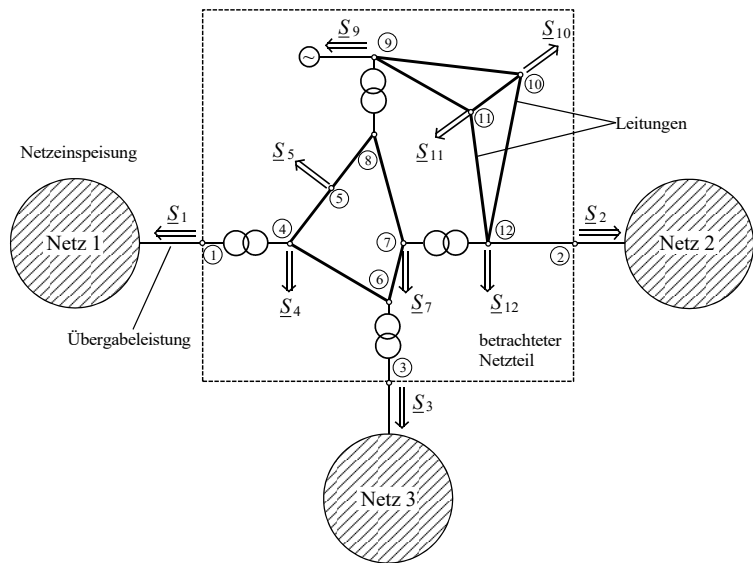
Folgende Module sind für das Studienmodell Elektrotechnik und Informationstechnik 9 verbindlich:

	Sem.	Vorl.-Nr.	Lehrveranstaltung	SWS V+Ü	LP	Prüfungs- dauer
Vernetzen- des Fach	SS	0180300 0180400	Numerische Methoden	2+1	5	2 h, S
	SS	23320 23322	Messtechnik	2+1	4	2 h, S
	WS	23183 23185	Optimization of Dynamic Systems	2+1	5	2 h, S
Vertiefung	SS	2306320 2306322	Leistungselektronik	2+1	5	2 h, S
	SS	23372 23374	Energieübertragung und Netzregelung	2+1	5	2 h, S
	WS	23371 23373	Elektrische Energienetze	2+2	6	2 h, S
	WS	23360 23362	Hochspannungstechnik	2+2	6	2 h, S
	WS	23319	Hochleistungsstromrichter	2+0	3	20 min, M
	SS	2581010	Einführung in die Energiewirtschaft	2+2	6	2 h, S
	WS	23392 23394	Hochspannungsprüftechnik	2+1	4	20 min, M
	WS	23398	Energietechnisches Praktikum oder alternativ ein Praktikum nach Absprache mit dem Modellberater	0+4	6	8 x 15 min, M
Zwischensumme					54	
Wahlmodule					30	
Überfachliche Qualifikationen					6	
Masterarbeit					30	
Gesamtsumme					120	

Elektrische Energienetze

Dozent:	Prof. Dr.-Ing. T. Leibfried
Umfang:	6 LP (2+2 SWS) im Wintersemester
Prüfung:	schriftliche Prüfung (2 Stunden)
Unterlagen:	Vorlesungsskript, Übungsaufgaben
Link:	http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_bee.php
	http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_eas1_uebung.php

Die Vorlesung Elektrischer Energienetze (EEN) behandelt zunächst die Grundlagen der Hochspannungstechnik und beantwortet die Frage, warum hohe Spannungen zur Energieübertragung überhaupt benötigt werden. Im zweiten Kapitel werden wichtige theoretische Grundlagen des Drehstromsystems und verschiedener Komponentensysteme gelegt. Diese werden im späteren Verlauf der Vorlesung zur Behandlung spezieller Fehlerfälle im Netz benötigt. Ein großes Kapitel beschäftigt sich dann mit der Berechnung von Energieübertragungsnetzen und -systemen. Hierunter ist die Lastflussberechnung mit ihren Varianten bis hin zu Optimierungsrechnungen hinsichtlich des Kraftwerkeinsatzes zu verstehen. Anschließend werden Fehlerfälle im Netz behandelt und die dafür nötigen Berechnungsverfahren erarbeitet. Zunächst geht es um den einfachen Fall des 3-poligen Netzkurzschlusses. Anschließend werden mit Hilfe der mathematischen Methode der symmetrischen Komponenten auch unsymmetrische Fehlerfälle berechnet, dies sind 1-polige und 2-polige Kurzschlüsse mit und ohne Erdberührung sowie Leitungsunterbrechungen.



Mit dieser Vorlesung werden die wesentlichen Werkzeuge zur Netzberechnung im störungsfreien stationären Betrieb und im Fehlerfall behandelt und bereitgestellt. Diese Grundlagen über Netze und deren Berechnung sollte jeder Ingenieur beherrschen, der im Bereich der elektrischen Energietechnik tätig sein will.

Energieübertragung und Netzregelung

Dozent:	Prof. Dr.-Ing. T. Leibfried
Umfang:	5 LP (2+1 SWS) im Sommersemester
Prüfung:	schriftliche Prüfung (2 Stunden)
Unterlagen:	Vorlesungsskript, Übungsaufgaben
Link:	http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_euen.php http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_eas2_uebung.php

Die Vorlesung Energieübertragung und Netzregelung (EÜN) behandelt die Technik der elektrischen Energieübertragung, sei es in Drehstromtechnik oder als Hochspannungsgleichstromübertragung. Zu Beginn wird die Charakteristik der Drehstromübertragung behandelt. Das zweite Kapitel behandelt die Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ), insbesondere die Funktionsweise der Anlagen, die Funktionsweise und teilweise Auslegung der Komponenten und die Regelung von HGÜ-Anlagen. Das dritte Kapitel widmet sich den „Flexible AC Transmission Systems (FACTS)“. Hierbei handelt es sich um leistungselektronische Anlagen, durch welche Energieflüsse im Netz gesteuert werden können. Behandelt werden der Aufbau, die Dimensionierung und die Funktionsweise dieser Anlagen. Das letzte Kapitel behandelt die Netzregelung. Zunächst werden systemdynamische Modelle für verschiedene Kraftwerkstypen abgeleitet. Diese werden durch die prinzipiell geltenden Modelle für ein Netz erweitert. Auf der Basis der so entstehenden Regelstrecke werden die Begriffe „Primärregelung“ und „Sekundärregelung“ erklärt.



Die Vorlesung bildet dadurch ein Kernstück der Studienmodelle „Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik (9)“, „Regenerative Energien (18)“ sowie „Elektrische Energiesysteme und Energiewirtschaft (23)“ und bereitet optimal auf die Ingenieur Tätigkeit in der Industrie (Siemens, ABB, Alstom als Großunternehmen sowie zahlreiche mittelständische Unternehmen) und bei Energieversorgungsunternehmen (EnBW, RWE, E.ON, Vattenfall sowie zahlreichen Stadtwerken) vor.

Hochspannungstechnik

Dozent:	Dr.-Ing. R. Badent
Betreuung:	M.Sc. M.Zajadatz
Umfang:	6 LP (2+2 SWS) im Wintersemester
Prüfung:	schriftliche Prüfung (2 Stunden)
Unterlagen:	Vorlesungsskript, Übungsaufgaben
Link:	http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_hst1.php http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_hst1_uebung.php

Die Hochspannungstechnik ist die essentielle Voraussetzung für die Übertragung und Verteilung großer Mengen Energie. Dabei müssen hohe elektrische Feldstärken beherrscht werden. Die Übertragung wäre ohne die Hochspannungstechnik weder wirtschaftlich noch technisch machbar.



In internationalen Normen spricht man von Hochspannung ab Spannungen von 1kV, für die Energieversorger in Deutschland beschränkt sich die Hochspannung jedoch auf 110kV darunter spricht man von Nieder- (bis 1kV) und Mittelspannung (1 bis 20kV) und darüber von Höchstspannung (220 und 380kV).

Die Vorlesung Hochspannungstechnik gibt die Grundlage für einen in der „Welt der Hochspannungstechnik“ arbeitenden Ingenieur. Diese umfasst nicht nur die Energieübertragung sondern auch andere technische Bereiche wie Röntgengeräte, Laser, Hochleistungslichtquellen, Senderöhren, Kopiergeräte, Elektrofilter, Nierensteinzertrümmerer, Spannungsversorgung von Satelliten und viele mehr.

Die Vorlesung umfasst folgende Themen im Einzelnen:

- Polarisation, Grenzflächen, Einschlüsse
- Gleich- und Wechselspannung am unvollkommenen Dielektrikum
- Frequenz- und Temperaturabhängigkeit des Verlustfaktors
- Erzeugung hoher Gleich-, Wechsel- und Stoßspannungen sowie hoher Stoßströme für Prüfzwecke und die Fusionsforschung
- Gasentladungsarten, Gaselektronik, Energieniveauschema
- Selbständige und unselbständige Entladungen, Townsend Mechanismus, Streamer-mechanismus
- Ähnlichkeitsgesetze, Paschengesetz
- Glimmentladungen, Funken, Lichtbögen, Teilentladungen
- Durchschlag flüssiger und fester Isolierstoffe, Statistik des elektrischen Durchschlags, Isolationskoordination
- Entstehung von Überspannungen, Leitungsgleichung, Wanderwellentheorie

Hochspannungsprüftechnik

Dozent:	Dr.-Ing. R. Badent
Umfang:	4 LP (2+1 SWS) im Sommersemester als Blockveranstaltung, 4 LP (2+1 SWS) im Wintersemester
Prüfung:	Mündliche Prüfung
Unterlagen:	Vorlesungsskript http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_hochspannungsprueftechnik.php
Link:	http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_hochspannungsprueftechnik_uebung.php

An Betriebsmittel der elektrischen Energietechnik werden höchste Anforderungen bezüglich Sicherheit, Verfügbarkeit und Lebensdauer gestellt. Dies rührt zum einen daher, dass diese Betriebsmittel mit hohen Investitionskosten verbunden sind und zum anderen, dass im Falle eines Versagens die Folgen erhebliche Ausmaße annehmen können verbunden mit sehr Kosten.

Eine umfassende Qualifizierung dieser Betriebsmittel ist daher unumgänglich. Teil dieser Qualifizierung sind umfangreiche Prüfungen mit teilweise sehr hohen Spannungen und Strömen. Da diese Prüfungen in der Regel sehr kostenintensiv sind, werden entsprechend hohe Anforderungen auch an die Qualität der Prüfung gestellt. Dies umfasst die Themenkomplexe Normung, Spannungsqualität, Messsysteme, Messunsicherheiten, Akkreditierung, etc. Der Hochspannungsprüf-technik kommt somit eine zentrale Rolle zu, bei der Qualitätssicherung elektrischer Betriebsmittel.

Normung

- Bedeutung
- Entstehung
- Klassen
- Internationale, nationale Normenwerke

IEC 60060

- Erzeugung der Prüfspannung
- Anforderungen an Spannungsform
- Toleranzen
- Messsysteme
- Messunsicherheitsberechnung

Teilentladungsprüfungen

- Physikalischer Hintergrund
- Elektrische Messung
- Ankopplung
- Filterung
- Störungen, Störunterdrückung

Prüfung von Kabeln und Garnituren, sowie Verbindern

- Theoretischer Hintergrund
- Lastwechselprüfung
- Kurzschlussstromprüfungen

Akkreditierung von Prüflaboratorien

- Voraussetzungen
- Akkreditierungsstellen
- Kalibrierkette



Energietechnisches Praktikum

Dozent:	Dr.-Ing. R. Badent / Dr.-Ing. K.-P. Becker
Betreuung:	Mitarbeiter
Umfang:	6 LP (4 SWS) im Wintersemester
Prüfung:	Praktikumsbegleitende mündliche Prüfungen
Unterlagen:	Aufgabenstellungen werden ausgehändigt
Link:	http://www.ieh.kit.edu/studium_und_lehre_praktikum_elektroenergiesysteme.php

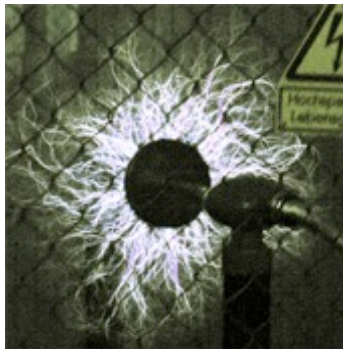
Das Praktikum Elektroenergiesysteme gibt in neun Versuchsnachmittagen einen Überblick über die Besonderheiten und Phänomene der Hochspannungs- und Energietechnik.

Die Unterlagen zur Versuchsvorbereitung ermöglichen ein Verständnis der Theorie der zu Grunde liegenden Phänomene. An anschaulichen und abwechslungsreichen Versuchen wird anschließend das gewonnene Wissen auf die Praxis übertragen.

Der Versuche werden in Gruppen von zwei oder drei Studierenden durchgeführt.

Besonderer Wert wird auf die Sicherheit gelegt: Da mit Spannungen mit bis zu 200 kV gearbeitet wird, ist durch verschiedene Sicherheits- und Sperrmechanismen für maximale Sicherheit der Praktikumssteilnehmer gesorgt.

Bestandteil des Praktikums ist eine Sicherheitsunterweisung und ein Oszilloskopkurs.



Themen:

- Erzeugung und Messung hoher Gleich-, Wechsel- und Stoßspannung
- Gasentladungen
- Teilentladungsmesstechnik
- Wanderwellen
- Kapazitäts- und Verlustwinkel-Messung an Energiekabeln
- Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)
- Elektromagnetische Verträglichkeit

