

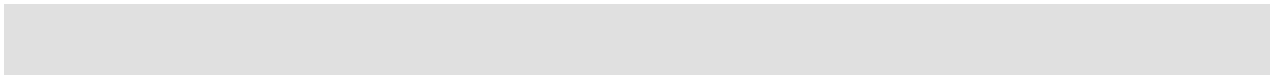
Jahresbericht 2010 - 2011



Mit freundlichen Grüßen überreicht von

Prof. Dr.-Ing. Harald Schwarz

Prof. Dr.-Ing. Klaus Pfeiffer



Kontakt:

*Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik
Walther-Pauer-Straße 5
D - 03046 Cottbus*

*Tel.: +49 (0355) 69 4502
Fax.: +49 (0355) 69 4039
Email: harald.schwarz@tu-cottbus.de*

Inhaltsverzeichnis

1	CEBra – Centrum für Energietechnologie Brandenburg	7
1.1	Das neue Netzforschungs- und Ausbildungszentrum an der BTU Cottbus.....	7
1.2	Entwicklung eines internationalen Studienprogramms Energietechnik	8
1.3	Inhaltliche Ausrichtung der Lehrstühle Energieverteilung und Hochspannungstechnik und Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik sowie der angegliederten Honorarprofessuren	10
2	Personelle Besetzung.....	16
3	Lehre.....	18
3.1	Einbindung in das Studium	18
3.2	Vorlesungen, Übungen, Praktika, Seminare.....	19
3.2.1	Wintersemester	19
3.2.2	Sommersemester.....	23
3.3	Studien- und Diplomarbeiten; Bachelor- und Masterarbeiten; Dissertationen.....	26
3.4	EEEIC – Conference – eine Exkursion im Wandel.....	34
4	Forschung.....	36
4.1	Schwerpunkte am Lehrstuhl	36
4.2	Projekte	37
4.2.1	Komplexer Einsatz von Strombegrenzern im Kraftwerkseigenbedarfsnetz auf Basis der HTSL-Technik	37
4.2.2	Einsatz von resistiven HTSL-Strombegrenzern im Eigenbedarf von Vattenfall- Neubaukraftwerken	38
4.2.3	Untersuchung der Auswirkungen eines steigenden Anteils von Hochspannungskabeln in den Hochspannungsnetzen der envia NETZ.....	38
4.2.4	Weiterführende Optimierung im Eigenbedarf von Kraftwerken der Vattenfall Europe Generation	39
4.2.5	Netzintegration Erneuerbarer Energien in Brandenburg	40
4.2.6	Pilotprojekt „intelligente Zähler für Forst“ der Netzgesellschaft Forst (Lausitz)	40
4.2.7	Untersuchungen zu Hybridkraftwerkskonzepten	41
4.2.8	Smart MV-Grid Falkenhagen	41
4.2.9	Untersuchungen zu virtuellen Kraftwerken	42
4.2.10	Projekt e-SolCar.....	43
4.2.11	Projekte im Hochspannungslabor	44
5	Prüf- und Messeinrichtungen	45
5.1	Räumlichkeiten.....	45
5.2	Wechselspannungsprüftechnik	45
5.3	Wechselspannungsmesstechnik.....	45
5.4	Wechselstrommess- und prüftechnik.....	46
5.5	Gleichspannungsmess- und prüftechnik.....	46
5.6	Stoßspannungsmess- und prüftechnik	46
5.7	Klimakammer	46
5.8	Optik-Labor	47
5.9	Elektronik-Labor	47

5.10	EMV-Labor	47
5.11	Schutztechnik-Labor.....	48
5.12	Wandlermessplatz.....	49
5.13	Netzanalyse-Labor	49
5.14	Software	49
6	Projektpartner und Arbeitskontakte.....	50
7	Publikationen	51
7.1	Veröffentlichungen	51
7.2	Vorträge.....	52
7.3	Veranstaltungen	52
7.4	Referenzen	53

Vorwort

Sehr geehrte Freunde des Lehrstuhls Energieverteilung und Hochspannungstechnik bzw. der Gastprofessur Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik,

mit großer Freude erlaube ich mir, Ihnen den Jahresbericht für 2010, 2011 zu überreichen.

Die beiden Jahre waren geprägt von einer besonders dynamischen Entwicklung. Während in den zurückliegenden 10 Jahren der LS Energieverteilung und Hochspannungstechnik eine durchschnittliche Personalstärke von 10-15 Personen hatte, konnten diverse Großprojekte in 2010 zum Vertragsabschluss gebracht werden, die seit 2008 vorbereitet wurden. Dadurch wuchs die Personalstärke des Lehrstuhls bis Ende 2011 auf ca. 30 Personen an.

So ist es neben diversen „kleineren“ Projekten mit einem Volumen von 3-5 Mannjahren gelungen, ein großes Verbundprojekt im Bereich der Netzintegration von Elektromobilität mit einem Umfang von 9 M€, einer Versuchsflotte von ca. 50 E-Cars und einer Entwicklerkapazität von 60 Mannjahren einzuwerben. Neben der Vattenfall Europe Generation und der BTU Cottbus hat auch German E-Cars eine R&D Gesellschaft in Cottbus gegründet. Laufzeit des Projektes ist bis Ende 2014.

Der mit 50Hertz-Transmission in 2008 begonnene Aufbau eines der leistungsfähigsten Systemtrainingszentren Europas wurde Ende 2009 abgeschlossen, die GridLab GmbH wurde als Betreibergesellschaft des Trainingszentrums Anfang 2010 gegründet. Derzeit wird zusammen mit 50Hertz Transmission, quasi als kleiner Bruder des kommerziellen Trainingszentrums an der BTU ein Netzforschungs- und Ausbildungszentrum im Neubau Energietechnik aufgebaut. Dieses wird neben zahlreichen Forschungsthemen auch für das neue Modul „Power System Operation“ im MSc „Power Engineering“ eingebunden, in dem es ab kommendem Wintersemester diese Spezialausbildung mit 8 Stunden pro Woche geben wird.

Mit Siemens wurde Ende 2011 eine Forschergruppe im Bereich der Hochspannungs-Leistungsschalter mit 8 Doktoranden über 3 Jahre gegründet. Die Doktoranden kommen aus China, Russland, Indien, Mexiko und Deutschland und haben an den Universtitäten ihr Studium abgeschlossen, mit denen die BTU im MSc Power Engineering besonders intensive Beziehungen unterhält. Über diese persönlichen Kontakte sollen die universitären Beziehungen weiter ausgebaut werden und zu den bereits existierenden Doppelabschlüssen weitere im Bereich Power Engineering, erst auf Masterniveau, später auch auf PhD-Niveau entwickelt werden.

Insgesamt hat sich der o.g. MSc „Power Engineering“ sehr gut entwickelt. Nach 150 Bewerbungen in 2009, über 300 Bewerbungen letztes Jahr, hatten wir über 400 Interessenten zum aktuellen Wintersemester, von denen dann schlussendlich über 60 eingeschrieben wurden.

Unmittelbar vor Drucklegung dieses Jahresberichtes wurde die Entscheidung des Brandenburgischen Wissenschaftsministeriums bekannt, bis Oktober 2013 die Hochschule Lausitz mit Standorten in Cottbus und Senftenberg und die Brandenburgische Technische Universität Cottbus zu einer neuen Universität Lausitz zusammenzuführen. Schwerpunkt dieser neuen Universität sollen Energietechnik und Umweltwissenschaften werden. Über diese Entwicklung werde ich sie im nächsten Jahresbericht genauer informieren.

Ich hoffe, dass dieser Jahresbericht Ihnen einen kleinen Eindruck der Aktivitäten des Lehrstuhles Energieverteilung und Hochspannungstechnik sowie der Gastprofessur Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik vermittelt.

Mit den besten Wünschen für das Jahr 2012, auch im Namen meiner Mitarbeiter, möchte ich deshalb schließen und verbleibe

Mit freundlichen Grüßen

A handwritten signature in black ink that reads "Harald Schwarz". The signature is written in a cursive style with a long horizontal stroke extending from the end of the name.

Prof. Dr.-Ing. Harald Schwarz

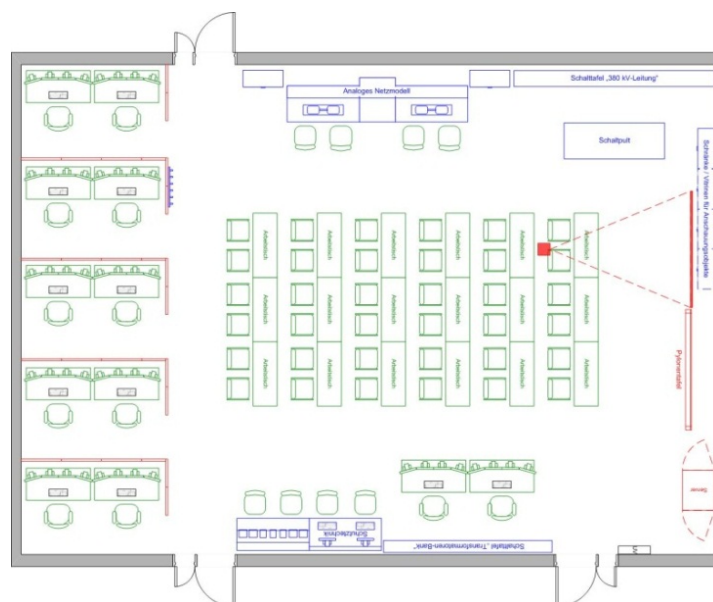
1 CEBra – Centrum für Energietechnik Brandenburg

1.1 Das neue Netzforschungs- und Ausbildungszentrum an der BTU Cottbus

In den Jahren 2006-08 hat die BTU für das Land Brandenburg eine sehr detaillierte Konzeption zur Netzintegration erneuerbarer Energie erstellt (download unter www.tu-cottbus.de/cebra), die in Folge in 2010/11 fortgeschrieben wurde. Im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Brandenburg wurden diese Studien in enger Zusammenarbeit mit Vattenfall Europe Transmission (heute 50Hertz Transmission), envia Verteilnetz (heute MITNETZ Strom), E.ON edis, ENERTRAG (nur 1.Studie) und NAWARO (nur 1.Studie) erstellt. Bereits als eine Konsequenz aus der ersten Studie wurde zusammen mit 50Hertz Transmission, BTC und KEMA-IEV an der BTU ein leistungsfähiges Netztrainingszentrum aufgebaut. Mit der Gründung der GridLab GmbH (Cottbus) als Schwesterunternehmen der 50Hertz Transmission hat dieses Trainingszentrum in 2010 seinen kommerziellen Betrieb aufgenommen.



Im Nachgang zu dieser Inbetriebnahme wurde mit der Geschäftsführung von 50Hertz Transmission vereinbart, im Neubau Energietechnik (Fertigstellung 10/2012) ein Netzforschungs- und Ausbildungszentrum, quasi als kleinem Bruder zum kommerziellen Netztrainingszentrum zu errichten. Dies wird einen Bereich für Netzplanung bzw. Netzschutz, ein analoges Netzmodell und 5 Leitwarten (für je 2 Trainees) sowie einen Trainerbereich zur Ausbildung im Bereich Netzbetrieb beinhalten und soll sowohl für die Ausbildung im Modul „Power System Operation“, als auch für Forschungsprojekte genutzt werden. Die räumliche Anordnung ist in folgender Abbildung dargestellt.



1.2 Entwicklung eines internationalen Studienprogramms Energietechnik

An der BTU werden energietechnische Studienprogramme in deutscher Sprache in folgenden Ausrichtungen angeboten:

- Elektrotechnik Diplom - Energiesysteme und dezentrale Energieversorgung
(keine Neueinschreibung) - Netzleittechnik
- Elektrotechnik Bachelor - Elektrische Energietechnik
- Elektrotechnik Master - Energiesysteme und dezentrale Energieversorgung
- Netzleittechnik
- Maschinenbau Master - Energietechnik
- Wirtschaftsingenieur Dipl. - Energieversorgung
(keine Neueinschreibung) - Kraftwerkstechnik
- Wirtschaftsingenieur BSc - Energieversorgung
- Kraftwerkstechnik
- Wirtschaftsingenieur MSc - Energieversorgung
- Kraftwerkstechnik

In dieses deutschsprachige Vorlesungsangebot wurde beginnend ab 2005 ein zusätzliches englischsprachiges Vorlesungsangebot hineinentwickelt. Planungsidee dabei war, ein Joint MSc Programm in „Electrical Power Engineering“ zusammen mit 2-3 europäischen Partneruniversitäten zu entwickeln. Einer der Treiber dafür war das zu dieser Zeit aufkommende europäische Stipendiensystem ERASMUS MUNDUS. Ab WS 2007/08 wurde der Joint Master als eigenständiges BTU-Programm MSc „Power Engineering“ weitergeführt. Dieser wurde dann auch auf 3 Studienrichtungen ausgeweitet und beinhaltet neben „Electrical Power Engineering“ nun auch „Power Plant Technology“ und „Sustainable Energy Supply“.

Dieser internationale Masterstudiengang hat sich seither sehr gut entwickelt, wie die nachfolgenden Zahlen belegen:

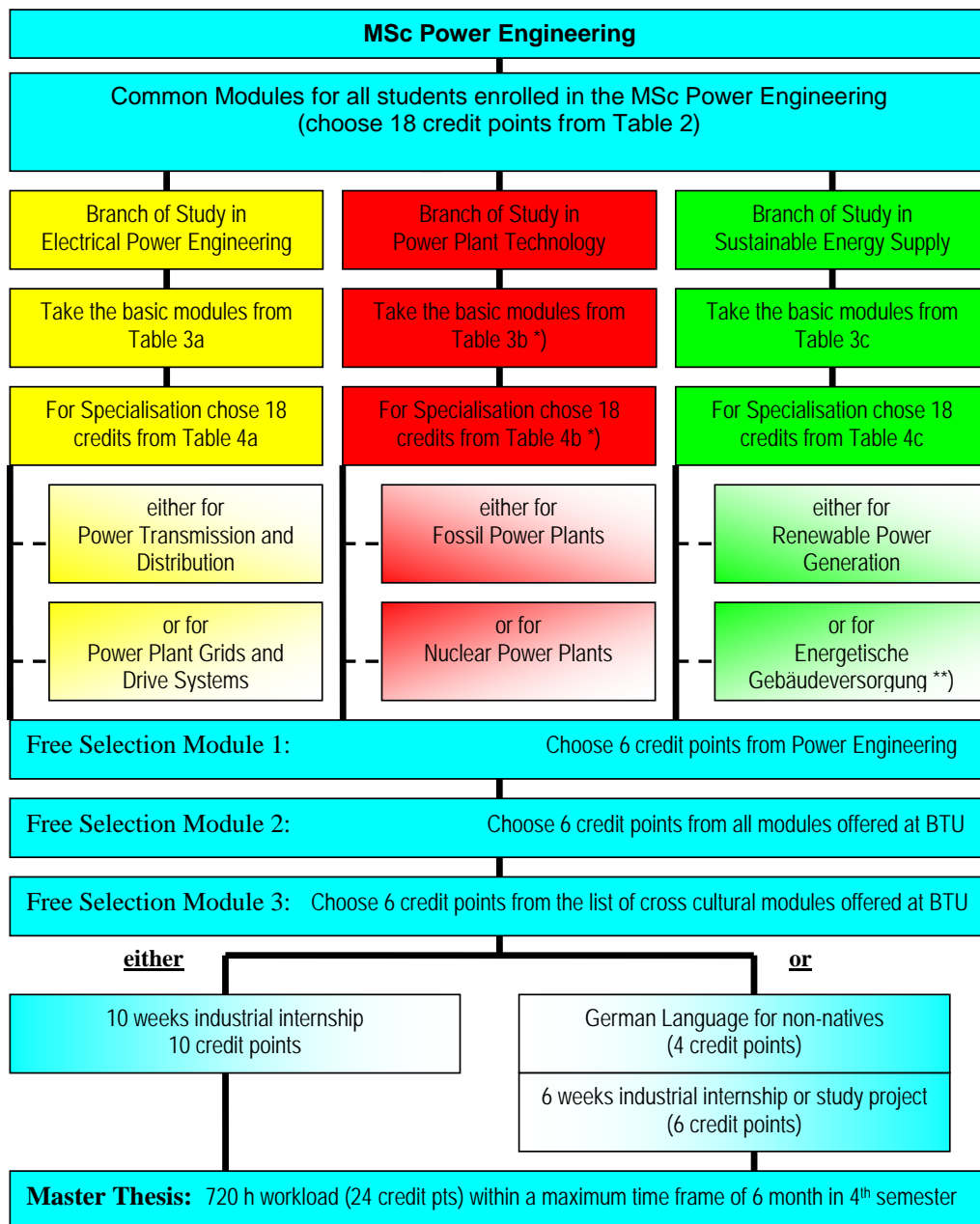
	WS 07/08	WS 08/09	WS 09/10	WS 10/11	WS 11/12
Bewerbungen	30	55	140	300	400
Zulassungen	20	40	75	100	170
Einschreibungen	11	23	43	25	60

Der Einbruch der Einschreibezahlen zum WS 10/11 war auf eine zu starke Selektion der Bewerber zurückzuführen. Die damals ausgewählte, besonders qualifizierte Klientel hatte auch Zulassungen an große deutsche Universitätsstandorte. Eine im Nachgang durchgeführte Abfrage zeigte, dass sich diverse Bewerber zwar nicht gegen das Studienprogramm, wohl aber gegen den Standort entschieden haben.

Um dieses Programm, das zu 35 % von externen Lehrenden aus der Industrie gestaltet wird, auch international zu vernetzen, wurden zwei globale Netzwerke etabliert. Das eine zielt auf internationale Universitätskooperationen mit dem Ziel, bilaterale Dual Degrees zu etablieren – das andere soll internationale Firmen an den Studiengang binden.

In den Jahren 2007-08 wurden Kooperationen mit China (Tsinghua University, Zhejiang University, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai Electric Power University), Taiwan (National Cheng Kung University), Südafrika (Stellenbosch University, University of Witwatersrand) und Brasilien (University of Sao Paulo, Paulista State University, University of Minas Gerais) aufgebaut. Im Jahr 2009 wurden die Kontakte von CEBra Research durch zwei neue Partner in Russland erweitert. Verträge über die Ko-

operation in Forschung und Lehre wurden mit der St. Petersburg State Polytechnical University und der Obninsk State Technical University of Nuclear Power Engineering abgeschlossen, die den Austausch von wissenschaftlichen Kenntnissen zwischen deutschen und internationalen Studierenden fördern sollen. In 2010 wurden auch Kooperationen mit dem MPEI-Moscow Power Engineering Institute und der TU Lahore vereinbart.



*) additional modules available in German Language

**) modules only available in German Language

Im Oktober 2009 wurde das erste Dual Degree Programm zwischen MSc „Power Engineering“ an der BTU Cottbus und MSc „Electrical Engineering“ bzw. „Mechanical Engineering“ an der Nationalen Cheng Kung Universität (NCKU) in Taiwan gestartet. Dieses Programm ermöglicht den Studierenden, das erste Studienjahr an der BTU Cottbus und das zweite Jahr an der NCKU zu verbringen. Am Ende des Studiums werden die Zeugnisse beider Universitäten vergeben. 2010 wurden Dual Degrees mit der University of Shanghai for Science and Technology und der Shanghai Electric Power University abgeschlossen. 2011 kam der Dual Degree mit der TU Wroclaw in Polen dazu. Im Frühjahr 2012 wird der entsprechende Doppelabschluss mit der TU St. Petersburg unterzeichnet werden.

1.3 Inhaltliche Ausrichtung der Lehrstühle Energieverteilung und Hochspannungstechnik und Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik sowie der angegliederten Honorarprofessuren

Lehrstuhl für Energieverteilung und Hochspannungstechnik

Der Lehrstuhl „Energieverteilung und Hochspannungstechnik“ hat den Status einer Eckprofessur in der Fakultät und deckt die gesamte Breite der hochspannungstechnischen Geräte, Anlagen und Netze, sowie den Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit in der Energietechnik und in einigen Anwendungen auch in der Verkehrstechnik ab.

Die Aktivitäten im Gebiet der Hochspannungsgeräte waren über mehr als 10 Jahre durch die konsequente Fortentwicklung im Bereich der optischen Sensorik geprägt. Diese wurden in enger Kooperation mit Ritz Messwandler und den regionalen Netzbetreibern in Ostdeutschland und Polen durchgeführt. Durch den Verkauf der Hochspannungssparte von Ritz und dem dadurch bedingten Ausfall von Nachfolgeprojekten sind diese Aktivitäten inzwischen stark reduziert worden und wurden durch wachsende Aktivitäten zusammen mit dem Siemens Schaltwerk im Bereich der Hochspannungsleistungsschalter ersetzt. Inzwischen konnte eine stark internationale Forschergruppe mit 8 Doktoranden aus China, Indien, Russland, Mexiko und Deutschland aufgebaut werden, in der diverse Themen aus dem Bereich der Gleich- und Wechselspannungsschalter über einen Zeitraum von 3 Jahren untersucht werden.

Über ein sehr großes Projekt zur Netzintegration von Elektromobilität konnten auch die längere Zeit wenig genutzte Infrastruktur im Bereich der elektromagnetischen Verträglichkeit reaktiviert werden. Diese ursprünglich mit Fokus auf EMV-Tests an großen Schienenfahrzeugen entwickelten Streifenleiterantennen werden in den kommenden Monaten für die Entwicklungsprüfungen an Elektrofahrzeugen umgearbeitet und dann auch in wissenschaftlichen Projekten genutzt. Alternativ wird auch der Aufbau einer Mode-Stirring Chamber untersucht.

Ein besonderer Schwerpunkt ist nach wie vor der Bereich der Netzplanung. Nach der großen Netzstudie für das Land Brandenburg, in der im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Brandenburgs in den Jahren 2006-08 ein umfassendes Konzept für die Netzausbauplanung zusammen mit Vattenfall Europe Transmission, E.ON edis, envia Verteilnetz, ENERTRAG und NAWARO erarbeitet wurde, erfolgte 2010-11 die Aktualisierung dieser Netzstudie. Kaum vorgestellt, kam die Novellierung des EnWG, das nun eine Verkabelung von Neubauleitungen bis 110 kV vorsieht. Dies ist nun Thema eines größeren Projektes zusammen mit envia Verteilnetz. Das Systemtrainingszentrum, welches beginnend ab 2008 zusammen mit 50Hertz Transmission an der BTU aufgebaut wurde, hat inzwischen über die Betreibergesellschaft GridLab GmbH den kommerziellen Betrieb aufgenommen. Ein ergänzender Teil, der ab 2012 die Forschungs- und universitären Ausbildungsanteile übernehmen soll, ist im Neubau für die Energietechnik an der BTU derzeit im Aufbau.

Neben der nun über viele Jahre in der Bearbeitung befindlichen Netzintegration erneuerbarer Energien, konnte über das Projekt e-SolCar auch die Netzintegration von Elektromobilität mit aufgenommen werden. Als eines der beiden Leitprojekte der Länder Berlin und Brandenburg im Bereich der Elektromobilität kümmert sich e-SolCar u.a. um die Nutzbarmachung der Fahrzeugbatterien als Speicher im Netz. Das Projektvolumen erreicht mit 9 M€ die gleiche Größenordnung, wie die acht e-mobility Modellregionen in Deutschland. Diese laufen allerdings Ende 2011 aus, während e-SolCar bis Ende 2014 angelegt ist.

Neben 60 Mannjahren Entwicklerkapazität, 45 Fahrzeugen auf Basis Opel Corsa, Mercedes Sprinter und Toyota Highlander, der entsprechenden Ladeinfrastruktur wurde auch über zusätzliche Förderung des Wissenschaftsministeriums Brandenburg eine ergänzende Infrastruktur auf dem BTU Campus geschaffen, mit der das Thema „Micro-Grid für solare Mobilität“ untersucht werden kann. Dies beinhaltet u.a. eine PV-Anlage mit 100 kWp und eine stationäre Speicherbatterie mit 500 kWh nutzbarer Kapazität.

Lehrstuhl für Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik

Dieser Lehrstuhl wurde als Gastprofessur zum April 2009 eingerichtet und mit Herrn Prof. K. Pfeiffer besetzt.

Im Bereich der Lehre ist eine der Hauptaufgaben dieses Lehrstuhls die Absicherung eines umfassenden englischsprachigen Lehrangebotes für den internationalen Masterstudiengang „Power Engineering“. Derzeit werden vier Lehrveranstaltungen angeboten, die das Spektrum der Energieversorgung mit Erneuerbaren Energien, die Grundlagen der elektrischen Energietechnik im Bereich der Mittel- und Niederspannungstechnik und die Kraftwerkselektrotechnik abdecken.

Die wissenschaftliche Ausrichtung des Lehrstuhls ist eng mit den Aufgabenstellungen verbunden, die sich durch die Integration der aus Erneuerbaren Energien erzeugten Elektroenergie in Netze der öffentlichen Energieversorgung ergeben. Aufgrund der stark fluktuierenden und überwiegend nicht bedarfsgerechten Leistungseinspeisung dieser Erzeuger ergeben sich neue Anforderungen an eine sichere und effiziente Elektroenergieversorgung. Daraus folgen Aufgaben, die von der technisch und marktwirtschaftlich nachhaltigen Wechselwirkung mit der konventionellen Erzeugung und der Übertragung und Verteilung bestimmt werden. Zukünftige Energiesysteme müssen unter den vorgenannten Bedingungen weiterhin sicher und effizient betrieben werden können. Deshalb sind die Planung, Gestaltung und Auslegung der Energiesysteme unter Berücksichtigung einer weiterhin hohen Versorgungszuverlässigkeit vorrangig.

Am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik werden deshalb Arbeiten in den folgenden Gebieten schwerpunktmäßig durchgeführt:

- Netzeinspeisung aus Erneuerbare-Energien-Anlagen

Einen Forschungsschwerpunkt stellt der EEG-getriebene Netzausbau der öffentlichen Energieversorgungsnetze dar. In diesem Zusammenhang werden die Auswirkungen der zu erwartenden Verkabelung der 110-kV-Netze, insbesondere auf die Sternpunkterdung, untersucht. Weiterhin besteht Untersuchungsbedarf zu netzverträglicheren Einspeiseformen in die öffentlichen Energieversorgungsnetze unter Berücksichtigung von Zwischenspeichern. Dieser Aspekt berührt auch gesamtwirtschaftliche Fragestellungen und bietet mehrere Berührungspunkte mit der Energiewirtschaft.

- Netzeinspeisungen und Eigenbedarfsanlagen konventioneller Kraftwerke

Ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt sind Untersuchungen zur Auslegung von zukünftigen Kraftwerksblöcken bei Anschluss an Netze mit hoher fluktuierender Windeinspeisung. Konventionelle Kraftwerke sind heutzutage dynamischeren Fahrweisen und Belastungen unterworfen als in den vergangenen Jahrzehnten. Deshalb ist es erforderlich, Anpassungen an den Anforderungskatalog von Neubaukraftwerken bezüglich der dynamischen Fahrweise vorzunehmen, um die durch Erneuerbare Energiequellen bedingten Fluktuationen auszugleichen und die technisch erforderliche Balance von Erzeugung und Verbrauch im Elektroenergiesystem auch weiterhin aufrecht zu erhalten. Um diese Anforderungen formulieren zu können, wird an einem umfassenden Simulationsmodell gearbeitet.

Ein fester Bestandteil im Aufgabenprofil des Lehrstuhls sind auch die „klassischen“ Themen im elektrischen Kraftwerkseigenbedarf. Hierzu zählen insbesondere die Auslegung der Eigenbedarfsversorgung, die beanspruchungsgerechte Dimensionierung der Schaltanlagen und Betriebsmittel, eine optimierte Kabelauswahl sowie spezielle Probleme der Schutztechnik. Darüber hinaus wird die langjährige Arbeit auf dem Gebiet der Kurzschlussstrombegrenzung im Kraftwerkseigenbedarf fortgesetzt.

Honorarprofessur für Mittel- und Niederspannungstechnik

Die Honorarprofessur ist organisatorisch dem Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik zugeordnet.

Das Fachgebiet umfasst Netze der industriellen und öffentlichen Elektroenergieversorgung sowie die zugehörigen Betriebsmittel und Schaltanlagen. Die Studierenden sollen befähigt werden, Netze und Schaltanlagen für hohe Versorgungszuverlässigkeit bei minimalen Kosten zu planen und zu betreiben. Dazu werden Grundsätze und Einflussgrößen der Grundsatzplanung, der Projektierung und des Netz- und Anlagenbetriebes vermittelt. Folgende Themenkomplexe werden vertreten:

Auslegungsberechnungen

- Ermittlung der Beanspruchungsparameter (Maximale Kurzschlussströme, Störlichtbogenbeanspruchung, thermisch wirksamer Kurzschluss)
- Bemessungsgrößen von Betriebsmitteln und Schaltanlagen (Transformatoren, Leistungsschalter, Wandler, Kabel, Sicherungen Schaltanlagen)
- Sternpunktbehandlung
- Schutzkonzeption (Minimale Kurzschlussströme, Selektivitätsarten, Auslöserauswahl)
- Sinnvolle Anwendung der vorhandenen Netzberechnungs- und Planungssoftware; Entwicklung neuer Software

Kabelauswahl

Durch zusätzliche Einbeziehung von

- Abnehmercharakteristiken
- Schaltgeräten
- Selektivitätsforderungen

Gestaltung von Mittel- und Niederspannungsschaltanlagen

- Auswahl der Betriebsmittel
- Konstruktive Gestaltung
- Personen- und Anlagenschutz

Einsatz von neuen Strombegrenzungseinrichtungen

Auswirkungen auf Dimensionierung der Betriebsmittel und Schaltanlagen sowie auf Selektivschutz und Netzbetrieb

- Konzeptionen angepasster Versorgungsstrukturen
- Gestaltungsmöglichkeiten neuer Schaltanlagengenerationen
- Neue Schutz- und Steuerungskonzepte

Honorarprofessur für Schutz- und Leittechnik

Die Honorarprofessur ist organisatorisch dem Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik zugeordnet.

Im Rahmen der Vorlesungen "Power Automation" wird Studenten der elektrischen Energietechnik, aber auch anderer Studienschwerpunkte die Gelegenheit gegeben, ihre Kenntnisse auf dem Gebiet des Schutzes elektrischer Übertragungs- und Verteilungsnetze zu vertiefen. Die Blockvorlesung im Wintersemester umfasst folgende Themengebiete:

- Basisanforderungen: Selektivität, Redundanz, Genauigkeit, Geschwindigkeit
- Schutzprinzipien: Überstromschutz, Distanzschutz, Differentialschutz sowie weitere Prinzipien
- Einfluss der Netzstrukturen auf die Schutzkonzepte
- Algorithmen zur digitalen Erfassung von Strom- und Spannungsamplituden sowie von Impedanzen
- Schutzkonzepte für Leitungen, Transformatoren, Sammelschienen und Maschinen einschließlich der technischen Realisierung
- Einfluss der Netzsternpunktbehandlung auf die Schutzkonzepte
- Prinzipien zur selektiven Einstellung von Schutzgeräten
- Hardwareanforderungen
- Kommunikation in Schaltanlagen

Diese Themen spannen einen Bogen von der traditionellen Energietechnik, die beispielsweise Kurzschlussvorgänge mit symmetrischen Komponenten berechnet, über Algorithmen digitaler Messtechnik inklusive hardwaremäßiger Realisierung bis hin zu Kommunikationslösungen zur Anwendung im Bereich von Schaltanlagen. Die Schutztechnik elektrischer Netze wird damit sowohl aus Herstellersicht (Algorithmen, Messtechnik) wie auch aus Anwendersicht (Schutzkonzepte, Einstellung von Schutzgeräten) beleuchtet.

Im Sommersemester werden diese Themen in Workshopform vertieft. Hier steht die Anwendersicht im Vordergrund. Es werden Schutzkonzepte für spezielle Netzsituationen betrachtet und es wird intensiv auf die Berechnung der Schutzeinstellungen („Staffelplanerstellung“) eingegangen. Obwohl sich die Grundprinzipien der Schutztechnik in den vergangenen Jahrzehnten nicht wesentlich verändert haben, wird eine netzweite optimale Einstellung der Schutzgeräte zunehmend schwieriger, aber auch wichtiger: Einspeisungen regenerativer Energien sowie intensiver Energiehandel führen dazu, dass die Netze nicht immer unter den Bedingungen betrieben werden, für die sie geplant wurden und somit näher am Limit betrieben werden. Dies erfordert innovative Lösungen bei der Schutztechnik.

Beide Veranstaltungen gehören zum Studienangebot für den englischsprachigen Masterstudiengang und finden deshalb in englischer Sprache statt.

Verantwortlich für dieses Gebiet ist Herr Prof. Dr.-Ing. Siegfried Lemmer, Siemens AG Nürnberg. Herr Prof. Lemmer hat als Leiter des Produktmanagements Schutztechnik der Siemens AG und als Mitglied nationaler und internationaler Gremien langjährige Erfahrung in seinem Gebiet. Er ist damit in der Lage, dieses Fachgebiet theoretisch fundiert und praxisnah zu vermitteln.

Honorarprofessur Dezentrales Energiemanagement

Deregulierung/Liberalisierung, Umwelt- und Ressourcenschonung, neue Technologien (Windenergieanlagen, Photovoltaik- und Brennstoffzellensysteme) sowie der Wunsch nach Effizienzsteigerung führten zu einem nachhaltigen Wandel in der Energiewirtschaft mit mehr Marktorientierung, Wettbewerb und neuen Partnern (Independent Power Producer oder Energiedienstleister) sowie zunehmender Nutzung erneuerbarer Energien und Kraft-Wärme-Kopplung. Der bisherige Ausbau war weitgehend dezentral, der sich abzeichnende weitere Zubau wird dezentral und zentral (Offshore-Windparks) erfolgen.

Die angestrebte Effizienzsteigerung kann neben Wirkungsgradverbesserungen im Großkraftwerks- und im Netzbereich im Wesentlichen vor allem durch Energieeinsatzoptimierung und KWK-Nutzung im verbrauchsnahe Bereich - d.h. in der Dezentralität - erreicht werden.

Zugleich kommt aber auch zunehmend der bisher vielfach vernachlässigte Aspekt der Systemverträglichkeit mit dem existierenden Elektroenergiesystem und seiner historisch bedingten Strukturschwäche für die neuen Beanspruchungen aus Standort und Dynamik auf, da das Netz, wie zuweilen vereinfachend oder unwissend angenommen, keine Kupferplatte ist, und zudem die Einspeisung aus Windenergie z.B. dargebotsabhängig und stark fluktuierend erfolgt.

Im Hinblick auf zukünftig zu erwartende Stückzahlen und Leistungen wird eine Koordination mit dem existierenden Netz erforderlich, die zwar bei geringeren Stückzahlen grundsätzlich auch einem zentralen Ansatz folgen kann, jedoch im Hinblick auf die mittelfristig drohenden Datenmengen und die gewünschte Gesamt-Effizienzsteigerung im wesentlichen nach dezentralem Konzept erfolgen sollte.

Der bisherige gesetzliche und energiewirtschaftliche Rahmen gibt immer wieder Anlass zu engagierten Diskussionen und ist z.T. suboptimal, da er in der Startphase zunächst auf einen Technologie-Push abzielt, eine systemische sowie darüber hinaus marktorientierte Sicht aber noch fehlt. Dies muss aber mittelfristig entwickelt und implementiert werden, da Anfang des nächsten Jahrzehnts z.B. für die Windenergie aufgrund der sich abzeichnenden Kostendegression nach den geltenden Regeln Wettbewerbsfähigkeit und auch andere Rahmenbedingungen als nach dem heutigen EEG erwartet werden – u.a. auch ein selbständiges Agieren von Windenergie-Unternehmern am liberalisierten Energiemarkt.

Vor diesem Hintergrund liegen die Arbeitsschwerpunkte des Lehrstuhls im Bereich der Integration dezentraler Energiesysteme, dem dezentralen Energiemanagement DEMS, der verbrauchsnahe Energieeinsatzoptimierung, der virtuellen Großanlagen sowie der Energieeffizienz und Energiesystemkompatibilität:

- Modellierung, Simulation und Optimierung dezentraler Versorgungssysteme zur Steigerung des energiewirtschaftlichen Nutzens regenerativer Energien bzw. dezentraler Energieerzeugung im Energiemix mit Querverbund sowie vertragsbasiertem Energieaustausch in öffentlicher Versorgung und Industrie.
- Dezentrales Energiemanagement mit Prognosen, Einsatzplanung, Online-Optimierung von Erzeugung, Speicherung und Last zur energiesystemkompatiblen Integration unter Berücksichtigung von Power-Quality-Anforderungen und Reserve-/Risiko-Strategien im Einzelsystem sowie in großräumiger Vernetzung.
- Optimale Ausnutzung vorhandener Betriebsmittel durch Abbildung technischer Restriktionen als vertragliche Randbedingungen im Energiemanagementsystem.

- Einsatz neuer Speichertechnologien und Spezifizierung erforderlicher Betriebscharakteristika.
- Bildung von virtuellen Großanlagen zur energiewirtschaftlichen Optimierung und profilbasierten Beteiligung am Energiemarkt.
- Nachhaltige Versorgungskonzepte und innovative Betriebsführungsstrategien
- Projektspezifische Systemanalysen
- Energiewirtschaftliche Fallstudien

Honorarprofessur International Business with Energy Products

Diese Honorarprofessur wird von Prof. Dr.-Ing. Harald Fien wahrgenommen. Als Leiter des Siemens Schaltwerkes in Berlin, sowie weiterer 11 Fertigungsstandorte für Hochspannungsleistungsschalter der Siemens AG weltweit bringt Prof. Fien einen großen Fundus an Kenntnissen für die strategische Planung und Umsetzung großer Projekte im In- und Ausland in seine Veranstaltungen ein. Die dafür erforderlichen Management Tools werden genauso vermittelt, wie ein grundsätzliches Verständnis zu den internen Strukturen von „Global Playern“ im Bereich der Energietechnik.

Eine daraus abgeleitete Forschungsaktivität ist der Aufbau einer internationalen Forschergruppe mit 6-8 Doktoranden an der BTU, die sich mit unterschiedlichsten Themen aus dem Bereich der Hochspannungsleistungsschalter beschäftigen. Die Doktoranden kommen aus China, Russland, Indien, Mexiko und Deutschland.

2 Personelle Besetzung

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Harald Schwarz

Leitung des Lehrstuhls
Energieverteilung und Hochspannungstechnik

Gastprofessor Dr.-Ing. Klaus Pfeiffer

Leitung des Lehrstuhls
Dezentrale Energiesysteme und
Kraftwerkselektrotechnik

Honorarprofessoren

Prof. Dr.-Ing. Günter Pfeiffer
Prof. Dr.-Ing. Siegfried Lemmer
Prof. Dr.-Ing. Rainer Bitsch
Prof. Dr.-Ing. Harald Fien

Lehrbeauftragte

Prof. Dr.-Ing. Heinz-H. Schramm
Dr.-Ing. Wolfgang Hauschild
Dr.-Ing. Przemyslaw Janik
Dr.-Ing. Gunnar Löhning
Dr.-Ing. Johann Pohany
Dr.-Ing. Leonowicz

Sekretariat

Marika Scholz

Wissenschaftliche Mitarbeiter

Dipl.-Ing. Dirk Lehmann

Dipl.-Ing. Christian Kranisch

Wissenschaftliche Mitarbeiter Netztrainingszentrum

Dipl.-Ing. Marcel Schneider (bis 2011 an BTU, danach bei GridLab GmbH)

Dipl.-Ing. André Lehmann (bis 2011 an BTU, danach bei GridLab GmbH)

Drittmittelbearbeiter

Dr.-Ing. Artur Napierala

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Feige (bis 2011)

Dipl.-Ing. Stefan Fenske (bis 2010)

Dipl.-Ing. Tobias Porsinger

Dipl.-Ing. Michael Nickusch

Dipl.-Ing. (FH) Erik Federau

Dipl.-Ing. Matthias Peglau

Dipl.-Ing. Ievgen Shalaginov

Dipl.-Ing. Viktor Kalimbach

Dipl.-Ing. Vasiliy Zhijaev

Dipl.-Ing. Martin Ruge

Dipl.-Ing. Stephan Choschzick

CEBra Research (Leitung Prof. Schwarz in PU)

Iryna Shalaginova M.A.
Dr.-Ing. Teklay Asegehegn
Dr.-Ing. Shaoqing Ying

Doktoranden (mit BTU- oder Industrie-Stipendium)

Dipl.-Ing. Lars Karge
Dipl.-Ing. Andre Fuchs
MSc Xoese Kobla Nanewortor
MSc Miguel Angel Cruz Munoz
MSc Bao Han
MSc Maxim Bonkarev
MSc Michael Samborsky
MSc Ruoyu XU

Technische Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. (FH) Holger Häusler	Laboringenieur
Dipl.-Ing. (FH) Lothar Kleinod	Techniker
Karl-Heinz Kleinschmidt	Elektriker

Studentische und Wissenschaftliche Hilfskräfte

Wong, Sue Hwa
Bondarev, Anton
Kossay, Ahmed
Musäus, Gido
Jende, Enrico
Kirkley, Matthew
Raof Sheibani, Davood
Hassonny, Hussein Ali
Hashemi Jazi, Seyed Amir
Funk, Tobias
Unger, Alexander
Klarhöfer, Max Paul
Woitow, Marcus

3 Lehre

3.1 Einbindung in das Studium

Der Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik sowie die Honorarprofessur Mittel- und Niederspannungstechnik sind mit ihrem Lehrdeputat teilweise oder ganz in folgende deutschsprachige Studiengänge eingebunden:

- Wirtschaftsingenieurwesen (Diplom) / SR Energieversorgung
- Wirtschaftsingenieurwesen (Diplom) / SR Kraftwerkstechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen (BSc) / SR Energieversorgung
- Wirtschaftsingenieurwesen (BSc) / SR Kraftwerkstechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen (MSc) / SR Energieversorgung
- Wirtschaftsingenieurwesen (MSc) / SR Kraftwerkstechnik
- Elektrotechnik (Diplom) / SR Energiesysteme und dezentrale Energieversorgung
- Elektrotechnik (Diplom) / SR Netzleittechnik mit Vertiefung in Energienetzen
- Elektrotechnik (Diplom) / SR Automatisierungstechnik und Antriebssysteme
- Elektrotechnik (BSc) / SR Elektrische Energietechnik
- Elektrotechnik (MSc) / SR Energiesysteme und dezentrale Energieversorgung
- Elektrotechnik (MSc) / SR Netzleittechnik mit Vertiefung in Energienetzen
- Elektrotechnik (MSc) / SR Automatisierungstechnik und Antriebssysteme

In die jeweiligen Diplom-Studiengänge wird nicht mehr eingeschrieben. Ferner wird ein englischsprachiger Masterstudiengang

- MSc Power Engineering

angeboten. In letztgenannten internationalen Studiengang fließt das gesamte Lehrdeputat des Lehrstuhles Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik sowie der Honorarprofessuren für Schutz- und Leittechnik bzw. Dezentrales Energiemanagement ein. Auch der LS Energieverteilung und Hochspannungstechnik erbringt $\frac{1}{4}$ seines Lehrdeputats in englischer Sprache im MSc „Power Engineering“.

Der MSc „Power Engineering“ ging 2007 aus dem zum WS 2005/06 erstmals gestarteten Joint-MSc „Electrical Power Engineering“ hervor. Zum damaligen Zeitpunkt musste an der BTU konstatiert werden, dass ein Joint-Master System, in dem die einzelnen Partneruniversitäten aufgrund eines aufeinander aufbauenden Curriculums in einer definierten Reihenfolge aufeinander folgen mussten, im praktischen Betrieb nicht realisierbar war. Da in regelmäßigen Abständen Partneruniversitäten aus den Verträgen zum Joint Degree austraten und in langwierigen Prozeduren neue Partner eingebunden werden mussten, beschloss die BTU Anfang 2007, das Joint-MSc Programme zu beenden und zum WS 2007/08 mit einem eigenen MSc „Power Engineering“ zu starten. Dieser wurde dann auch auf 3 Studienrichtungen ausgeweitet und beinhaltet neben „Electrical Power Engineering“ nun auch „Power Plant Technology“ und „Sustainable Energy Supply“.

Um auch dieses Studienangebot, das inzwischen sehr gut angenommen wird, international zu vernetzen, wurden zwei globale Netzwerke etabliert. Das eine zielt auf internationale Universitätskooperationen mit dem Ziel, bilaterale Dual Degrees zu etablieren – das andere bindet internationale Firmen mit einem Stipendensystem an den Studiengang.

Darüber hinaus sind die Lehrstühle Energieverteilung und Hochspannungstechnik sowie Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik auch in den Wahlpflichtbereich des internationalen Studiengangs Environmental and Resource Management integriert.

3.2 Vorlesungen, Übungen, Praktika, Seminare

3.2.1 Wintersemester

LS Energieverteilung und Hochspannungstechnik

Grundzüge der elektrischen Energie- und Antriebstechnik 1

Studiengang Elektrotechnik, Wirtschaftsingenieurwesen

3. Semester – VL/UE

Die Studenten beherrschen nach dem Teil 1 die Grundkenntnisse zu Primärressourcen, Wandlung, Transport und Anwendung elektrischer Energie mit speziellem Blick auf Primärenergieverbrauch, Struktur und Technik des Kraftwerksparks, Lastgänge, Speicherbarkeit, regenerative Einspeisungen, Übertragungs- und Verteilnetze, Endenergieverbrauch, elektrotechnisches Rechnen in dreiphasigen Netzen, Grundlagen energietechnischer Geräte und Anlagen

Schwarz, D. Lehmann

Hochspannungstechnik und Isolierstoffe

Studiengang Elektrotechnik, Wirtschaftsingenieurwesen SR Energieversorgung

5. Semester - VL/UE

Die Studenten verfügen über vertiefte Kenntnisse in der Hochspannungstechnik sowie den Hochspannungsisolierstoffe und haben ein breites Verständnis für elektrische Felder und Durchschlagsvorgänge in technischen Isolierstoffen entwickelt mit speziellem Blick auf Elektrische Feldstärke, Raumladungen, Grenzflächen, Schichtdielektrika, Gasentladung, Durchschlagmechanismen in Gasen, Feststoffen und Flüssigkeiten, Herstellung und Materialparameter technischer Isoliergase, flüssige und feste Isolierstoffe

Schwarz, C. Kranisch

Planung von Energieübertragungsnetzen

Studiengang Elektrotechnik, 5. oder 7. Semester, Wirtschaftsingenieurwesen Energieversorgung - VL/UE

Die Studenten verstehen die betriebstechnischen und planerischen Zusammenhänge in Energieübertragungsnetzen und können die entsprechenden Rechentechniken anwenden mit speziellem Blick auf Verbundnetz, Lastfluss, Längs- und Querregelung, Blindleistungsbereitstellung, FACTS, Oberschwingungen, Flicker, symmetrischer und asymmetrischer Kurzschluss, Sternpunktbehandlung, Erdung, Stabilität, Hochspannungs-Gleichstromübertragung, Bahnstromversorgung

Schwarz, D. Lehmann

Mittel- und Niederspannungstechnik I

Studiengang Elektrotechnik, Wirtschaftsingenieurwesen SR Energieversorgung
Hauptstudium - VL

Die Studenten erhalten die Berechnungs- Planungs- und Betriebsgrundlagen von Mittel- und Niederspannungsnetzen, -anlagen und -geräten mit speziellem Blick auf Beanspruchungen von Betriebsmitteln und Schaltanlagen in der öffentlichen und industriellen Energieversorgung, Es werden die Auslegungsberechnungen und Konzepte für den Selektivschutz behandelt.

G. Pfeiffer

Introduction in Electrical Power Systems

MSc Power Engineering - VL, SE

Students will get a basic understanding in electrical power engineering with special reflection on the situation during normal or fault operation with special reflection on basics in single phase and three phase systems, conventional power plants, generators, transformers, operation under normal and fault conditions, overvoltages

Die Veranstaltung ist als Einstiegsveranstaltung in diesem englischsprachigen Studiengang für die Studenten gedacht, die ihre energietechnischen Grundkenntnisse aus vorangegangenen Bachelorstudiengängen auffrischen wollen.

Schwarz, Porsinger

EMC in Electrical Power Systems

MSc Power Engineering - VL/PR

Students will get a deeper understanding of possible interferences in power systems and will be able to design a EMC compatible layout in large scale power installations and systems with special respect to electromagnetic environment (high frequency impulse fields, lightning impulse overvoltages, switching impulses, low and medium frequency interferences), EMC design criteria (protection against direct lightning stroke, potential grounding, screening, overvoltage protection, filters), EMC system planning (zone concept, interface definition) EMC measuring and testing technique

Schwarz, C. Kranisch

Power Automation I

MSc Power Engineering
Studiengang Elektrotechnik, Wirtschaftsingenieurwesen SR Energieversorgung
Hauptstudium - VL

Students will get a basic understanding of protection systems in electrical power networks with special respect to electronic basics of protection engineering, requirements, algorithms, hard ware concepts, new technologies of protection devices

Lemmer

Basics in Energy Information Systems

MSc Power Engineering

Students will get a first basic understanding of the structure- und process optimized information systems in the energy sector with special respect to structures and processes in the energy supply, information requirements, basic data and data exchange, data models, company wide integration, communication, automation, office integration, standard architecture, CIM-data model etc., functional moduls, architecture und workflow

Pohany, Schwarz

International Management Part 1

MSc Power Engineering

Students will get a Basic understanding of management, management tools, strategic planning and project-management. Besides they get an overview of the organization of international companies, Personnel development and global marketing.

Fien

Intercultural Exchange between Poland and Germany Teil 1

MSc Power Engineering

Studiengang Elektrotechnik, Wirtschaftsingenieurwesen SR Energieversorgung

Hauptstudium – SE/EX

Die Studenten entwickeln ein interkulturelles Verständnis für Osteuropa und erhalten durch die energietechnische Exkursion in Deutschland, Polen oder Tschechien einen breiten Einblick in die Arbeitswelt in diese Länder.

Die Veranstaltungsreihe beginnt mit einem Seminar in englischer Sprache zu interkultureller Kompetenz (2 SWS) im Wintersemester. Zu Beginn des Sommersemesters findet ein Grundkurs (ca. 30 h) in polnischer Sprache statt. Im Sommersemester findet dann eine deutsch-polnische Studentensexkursion (Dauer 7 Tage) mit der Besichtigung technischer und kultureller Highlights in Polen oder Deutschland statt (Exkursionssprache ist englisch, deutsch, polnisch). Teilweise geht die Exkursion inzwischen auch durch Teile von Tschechien. Die Veranstaltung ist im Rahmen des fachübergreifenden Studiums anerkannt.

Schwarz, D. Lehmann

LS Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik

Renewable Energy Technologies for Electrical Power Supply

MSc Power Engineering

Students will get an introduction into different technologies of utilization of renewable energies for generation of electrical energy (hydro power, wind power, photovoltaic, solar-thermal power, geothermal power, tidal power) as well as storage of electrical energy in pumped-hydro plants and CAES-plants (availability, efficiencies and ranges of power output of existing and prospective plants, physical basics, overview about the resources and accessible potentials, problems of grid integration in case of fluctuating power generation).

K. Pfeiffer

Medium- and Low-Voltage Technology

MSc Power Engineering

The focus of this lecture is on design, parameters and rating of equipment in M.V.- and L.V.-level (transformers, switchgears, substations, cables, overhead lines, switching devices). Furthermore the students will get the basics of symmetrical fault calculation and the calculation of relevant stress parameters to the equipment. The lecture will end with a project about the rating of switchgears in the auxiliary supply of a gas turbine power plant (inclusive short-circuit calculation and cable selection).

K. Pfeiffer

Decentralized Energy Management I (letztmalig zum WS 10/11)

MSc Power Engineering

Energy economic aspects, consumption, resources, new energy scenarios and concepts; decentralized energy supply in developing, emerging and industrialized countries; liberalization in industrialized countries.

Bitsch

3.2.2 Sommersemester

LS Energieverteilung und Hochspannungstechnik

Hochspannungsgeräte und Schaltanlagen

Studiengang Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen SR Energieversorgung

Die Studenten verfügen über vertiefte Kenntnisse zu elektrischen Betriebsmittel und Schaltanlagen in Hochspannungsübertragungs- und –verteilnetzen mit speziellem Blick auf Transformatoren, Kabel, Freileitungen, Leistungs- und Trennschalter, Strom- und Spannungswandler, Ableiter, Schaltanlagenkonzepte für GIS und AIS, Blitzschutz, Erdung

Schwarz, D. Lehmann

Schutz von Energieübertragungsnetzen

Studiengang Elektrotechnik, Wirtschaftsingenieurwesen SR Energieversorgung

Die Studenten verfügen über ein vertieftes Verständnis zum analogen und digitalen Schutz von Hochspannungsnetzen mit speziellem Blick auf Wandler, Überstromschutz, Distanzschutz, Differentialschutz, Trafoschutz, Sammelschienen- und Anlagenschutz, Erdschlusschutz, digitale Schutzrelais, Schutzprüfung

Schwarz, C. Kranisch

Mittel- und Niederspannungstechnik II

Fortsetzung der Vorlesung „Mittel- und Niederspannungstechnik I“ aus dem Wintersemester mit Inhalten Kabelauswahl, Gestaltung von Schaltanlagen (Auswahl von Schaltgeräten, Personen- und Anlagenschutz, Projektbeispiele) sowie Konzepte für neue Gestaltungsmöglichkeiten (Kurzschlussstrombegrenzung).

G. Pfeiffer, Schwarz

Intercultural Exchange between Poland and Germany Teil 2

Fortsetzung der gleichnamigen Veranstaltung aus dem Wintersemester mit Durchführung der einwöchigen deutsch-polnischen Studentensexkursion entweder in Polen, Deutschland und gelegentlich in Tschechien.

Schwarz, D. Lehmann

Einführung in das Hochspannungslabor

Interessierten Studenten und Schülern wird eine 1-2 stündige Einführung mit kleineren Experimenten in die Hochspannungslabore der BTU gegeben. Weitere Informationen, Termine und Anmeldungen am LS Energieverteilung und Hochspannungstechnik, LG 3A.

Schwarz, D. Lehmann

Einführung in die elektrische Energieversorgung

Interessierten Studenten, die nicht Elektrotechnik oder WI-Ing-Energieversorgung studieren sowie Schülern wird eine ca. 3-4 stündige Einführung in die wesentlichen Zusammenhänge der elektrischen Energieversorgung gegeben. Das Seminar ist als Rechnerübung mit Vortragsteil aufgebaut. Weitere Informationen, Termine und Anmeldungen am LS EVH, LG 3A.

Schwarz, D. Lehmann

HV Measuring and Testing Technique

MSc Power Engineering

Students will get a detailed knowledge in measuring and testing circuits and equipment with special respect to high voltage applications and will practise their knowledge in several high voltage lab experiments with special respect to AC, DC and impulse generators with Marx-generator or transformers, oscillating impulse generation, EMP- and cable generators, high current sources, resistive or capacitive dividers, response time, band width, earth capacitance, measuring cables, digital and analog oscilloscopes, rogowski-coils, hall-sensors, shunts, optical voltage and current sensors, dielectric measurements, partial discharge detection

Hauschild, Schwarz, C. Kranisch

Power Automation II

MSc Power Engineering

Students will get a deeper understanding of power network protection systems and will be able to design own basic layouts with special respect to protection concepts, device engineering, settings, communication, requirements, algorithms, hardware concepts, new technologies

Lemmer, Schwarz

Energy Information Systems II

MSc Power Engineering

Students will get a more deeper knowledge in the structure- und process optimized information systems in the energy sector (Continuation of Lecture Basics in Information Systems) with special respect to Structures and processes in the energy supply, information requirements, basic data and data exchange, data models, company wide integration, communication, automation, office integration, standard architecture, CIM-data model etc., functional modules, architecture und workflow (Continuation of Lecture Basics in Information Systems)

Pohany, Schwarz

International Management Part 2

MSc Power Engineering

Students will get a Basic understanding of management, management tools, strategic planning and project-management. Besides they get an overview of the organization of international companies, Personnel development and global marketing.

Fien

LS Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektronik

Basics in Grid Calculation

MSc Power Engineering

Students will get the basics in grid calculation (symmetrical and asymmetrical three-phase system, transformation methods with focus on symmetrical components, neutral point treatment, symmetrical impedances and equivalent circuits, calculation of asymmetrical fault currents) as well as an overview about the methods of calculation of short-circuit currents and power flow (nodal voltage method, mesh-current method). The lecture includes an overview about software solutions in the field of grid calculation.

K. Pfeiffer

Auxiliary Power Supply of the Power Plant

MSc Power Engineering

Students will get an overview about auxiliary networks in power plants (requirements, basic layout, redundancy concepts, DC power supply and uninterruptible power supply concepts, emergency generators, M.V. and L.V. switchgears in auxiliary networks including transformers, drives, active and reactive power control of generators, frequency control, generator protection, transfer concepts, selective protection in auxiliary networks).

K. Pfeiffer

Decentralized Energy Management II (letztmalig zum SS 11)

MSc Power Engineering

Energy/component mix of relevant sources/RES-DG technologies, storage systems and loads with relevant characteristics, system integration and optimization by Decentralized Energy Management, Large Scale Virtual Power Plant and gridtopological clustering, LSV CHP-Unit in a municipal grid, integration of large off shore wind farms and market oriented operation of RES/DG.

Bitsch

3.3 Studien- und Diplomarbeiten; Bachelor- und Masterarbeiten; Dissertationen

Studienarbeiten

- Haithem, Ben Said *„Aufbau von Ladestationen für Elektrofahrzeuge“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Kranisch, Christian *„Blindstromkompensation in Industriebetrieben“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Glau, Manuel *„Die Auswirkungen der Verordnung zur Weiterentwicklung des bundesweiten Ausgleichsmechanismus (AusglMechV) für die deutschen Übertragungsnetzbetreiber“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Kuschka, Stefan *„Gegenüberstellung von Methoden zur Leistungsflussrechnung in Übertragungsnetzen“*
betreut bei 50Hertz Transmission GmbH durch Herrn Dr.-Ing. R. Bauer und am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn D. Lehmann
- Müller, Theresa *„Vorstellung und Analyse aktueller Speichertechnologien zur Regulierung der Einspeisung von Windenergieanlagen“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Quiang, Sun *„Untersuchungen zum Frequenzverhalten konventioneller -und optischer Spannungswandler“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dr.-Ing. M. Honscha
- Tan, Zhao *„Einfluss der netzgekoppelten Photovoltaikanlagen auf die Spannungsanhebung im Niederspannungsnetz“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Dipl.-Ing S. Ying
- Brose, Nico *„Recherche zur Akkreditierung des Hochspannungslaboratoriums der BTU Cottbus nach DIN 17025 und Erstellung eines Maßnahmenkataloges mit Aufnahme der Prozessabläufe“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Dipl.-Ing D. Lehmann und Herrn Dipl.-Ing L. Kleinod

- Kammer, Philipp *„Einsatzmöglichkeiten von Energiespeichertechnologien im Zusammenhang mit Smart Grid – Konzepten“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. Pfeiffer und Herrn Dipl.-Ing. S. Choschzick
- Peglau, Matthias *„Konzept für einen Versuchsstand zur Aufnahme der Übertragungsfunktion von Spannungswandlern“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz, Herrn Dipl.-Ing D. Lehmann und Herrn Dipl.-Ing. (FH) H. Häusler
- Grzelak, Dennis *„Technische und wirtschaftliche Grundlagen zur Kalkulation lastabhängiger Stromtarife für die Integration von Elektrofahrzeugen“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz, Herrn Dipl.-Ing D. Lehmann und Herrn Dr.-Ing. M. Honscha
- Wodner, Diane *„Glättung der Spitzenlast mittels Photovoltaik - Analyse und Konzeptentwicklung am Beispiel des Versorgungsgebietes Cottbus“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Hiller, Juliane *„Smart Grid - Anwendungen mit Relevanz für den Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) - Randbedingungen des Lastmanagements im Haushaltsbereich“*
betreut bei 50Hertz Transmission GmbH durch Herrn Dr.-Ing. M. Müller-Mienack sowie Frau Dipl.-Kauffrau J. Coffey und am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Schubert, Tobias *„Studienarbeit zur Blindleistungskompensation in Energienetzen der Mittel- und Hochspannungsebene“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Dipl.-Ing. C. Kranisch
- Tawfek, Ahmed *„Temperature monitoring system for overhead line conductors“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. Pfeiffer
- Bergmann, Raika *„Technologieentwicklung und Nutzung von Windkraftanlagen“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Dr.-Ing. T. Woldt

Bachelorarbeiten

- Liu, Kai *„Auswertung Oberschwingungen und Messungen von Verfahren FFT“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Savadogo, Soumaila *„Netzdynamik von Photovoltaikanlagen“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Funk, Tobias *„Entwicklung systemanalytischer Algorithmen zur Ermittlung (n-k)-sicherer Netzstrukturen“*
betreut bei 50Hertz Transmission GmbH durch Herrn Dr.-Ing. R. Bauer und am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann

Diplomarbeiten

- Kranisch, Christian
„Smart Grid – zukünftiger Lösungsansatz für die vollständige Integration dezentraler und regenerativer Einspeisungen“
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz, Herrn Dipl.-Ing. S. Schüler und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Kuschka, Stefan
„Untersuchung des statischen und dynamischen Verhaltens von Übertragungsnetzen im Hinblick auf den Einsatz von innovativen Übertragungstechnologien“
betreut bei 50Hertz Transmission GmbH durch Herrn Dr.-Ing. R. Bauer sowie Herrn Dr.-Ing. T. Haase und am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Garnitz, Bastian
„Der Einfluss von Photovoltaikeinspeisungen auf das Lastmanagement am Beispiel der Stadt Cottbus“
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Tang, Rulan
„Erdungsmessung in großflächigen Anlagen“
betreut durch Herrn N. Kschiewan und am Lehrstuhl für Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Hiller, Juliane
„Elektromobilität - Wirtschaftliche Analyse der Bereitstellung von Regelenergie in der Regelzone der 50Hertz Transmission GmbH“
betreut bei 50Hertz Transmission GmbH durch Herrn Dr.-Ing. M. Müller-Mienack sowie Frau Dipl.-Kaufrau J. Coffey und am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Knerndel, Christian
„Prognose von Last und Erzeugung im Netzgebiet der E.ON edis AG und Ableitung von Vorgaben für die Netzentwicklung“
betreut bei E.ON edis durch Herrn Dipl.-Ing. S. Dorendorf und Herrn Dipl.-Ing. S. Ventzke; am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. Dr. K. Pfeiffer
- Haake, Matthias
„Untersuchungen zur Kopplung von Speichersystemen mit leistungsstarken Photovoltaik-Großanlagen für deren verbesserte Netzintegration“
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. Dr. K. Pfeiffer

Masterarbeiten

- Ogochukwu, Eluagu Cosmas *„Challenges of Integrating Large Offshore Wind Farms“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Reddy, Kota Kalyan Kumar *„Energy storage systems with main focus on compressed air energy storage“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Bao, Han *„Analyse von Oberschwingungen durch eine Photovoltaik-Anlage“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Weifeng, Chen *„Cost Reduction by Material Localization for GIS“*
betreut durch Herrn Dr.-Ing. Goeschel und am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Raza, Muhammad *„Dynamic Modelling and Stability Analysis of "ABB HVDC Light" for grid connected large Offshore Wind Power Plant“*
betreut bei RWE Innogy GmbH durch Herrn Dr.-Ing. F. Koch, an der Universität Duisburg-Essen durch Herrn Prof. Erlich und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Joshi, Ragesh *„The auxiliary system protection of power plant“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Joshi, Abhishek *„Analytical and experimental investigations in well defined overshoots on lightning impulse (LI) voltages“*
betreut bei HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH durch Herrn Dr.-Ing. M. Hinow, bei Vattenfall Europe Generation AG durch Herrn Dr.-Ing. M. Honscha und am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann und Herrn Dipl.-Ing. (FH) H. Häusler
- Klausch, Gregor *„Ansätze zur Darstellung von Momentanwerten des Drehstromsystems in äquivalenten Komponentensystemen“*
betreut am Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik durch Herrn Prof. Schwarz und Herrn Dipl.-Ing. D. Lehmann
- Toochukwu, Anthony *„Design and Control of Stand-Alone Hybrid Power System“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer und Herrn Dr. Ahmed Tanveer
- Eluagu, Cosmas *„Challenges of integrating large offshore wind farms“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer

- Dimitrovski, Robert *„Application of artificial neural networks and fuzzy logic in power systems“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Ebenezer, Chioma *„Recommendations for the condition monitoring of large turbo generators“*
betreut bei Vattenfall Europe Generation durch Herrn Dr. G. Löhning und Herrn Dipl.-Ing. D. Haake und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Ergöz, Mustafa *„Developing a wind farm project in Turkey“*
betreut bei ENERTRAG durch Herrn Dipl.-Kfm. A. Boensch und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Rabbee, Fazle *„Modelling and simulation of a wind farm integration under the condition of the Ordinance on System Services by Wind Energy Plants (System Service Ordinance – SDLWindV)“*
betreut bei WindConsult GmbH durch Herrn Dipl.-Ing. M. Hickisch und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Popoola,
Olaniyi Wahhed *„Renewable Integration into GOSP Nakhla distribution network“*
betreut bei Wintershall durch Herrn Dipl.-Ing. Diedrich Thaden und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Shalaginov, Ievgen *„Eine praktische Anwendung von netzautarken Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien für kleine Siedlungen: Verbindung von Windenergieanlagen, Wasserstoffproduktion und –speichersystemen und SOFC Brennstoffzellen“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Budhathoki, Suman *„Grid Connection of Gotikhel Micro Hydropower Plant without Interrupting Existing Isolated Load“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Tawfek, Ahmed *„Reactive Power Control and Capabilities of Modern Wind Farms and the Impact on the Power System“*
betreut an der Universität Kiel, Lehrstuhl für Leistungselektronik und elektrische Antriebe, durch Herrn Prof. Dr.-Ing. F.W. Fuchs und Herrn Dipl.-Ing. Christian Wessels und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Kildis, Tuna *„Technical-Commercial Evaluation of Horizontal Single-Axis Trackers for Large-Scale Free-Field Photovoltaic Plants in the Indian Market“*
betreut bei juwi Solar durch Herrn Dipl.-Ing. Sven-Malte Störing und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer

- Senol, Ünver *„Analysis of Central and String Inverters Effects in Concentrated PV Plants“*
betreut bei Soitec durch Herrn Dr.-Ing. Andreas Gombert und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Voronin, Dimitriy *„Development of optimal in-feed concepts for the shore-side power supply of vessels“*
betreut bei Vattenfall PowerConsult durch Herrn Dipl.-Ing. Holger Weiland und am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Yatim, Yazhar Bin *„Design of a standalone RE-diesel-hybrid-system in Tuba Island, Langkawi, Malaysia“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Prof. K. Pfeiffer
- Zhang, Jingyi *„Entwicklung einer vereinfachten Modellstruktur zur Software-basierten Simulation der Wirkleistungseinspeisung eines Pumpspeicherwerks“*
betreut am Lehrstuhl Dezentrale Energiesysteme und Kraftwerkselektrotechnik durch Herrn Dipl.-Ing. Lars Karge

Dissertationen

Pohany, Johann

Beitrag zur Erhöhung der Effizienz und Prozesssicherheit in der elektrischen Energieversorgung durch integrierte zeitvariable Betriebsmittelkennzeichnung

BTU Cottbus, 26.02.2010

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr.-Ing. K. Pfeiffer

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H. Schwarz

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. R. Bitsch

Dritter Gutachter: Prof. Dr. J. Dibbern

Honscha, Maik

Analyse und Simulation des Temperatureinflusses auf einen optischen Spannungswandler

BTU Cottbus, 15.07.2010

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr.-Ing. G. Lappus

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H. Schwarz

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. K. Pfeiffer

Napierala, Artur

Kontaktieren von stromfähigen Silikon-Bauelementen

BTU Cottbus, 17.08.2010

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr.-Ing. K. Pfeiffer

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H. Schramm

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H. Schwarz

Fenske, Stefan

Ermittlung des Schaltvermögens von Hochspannungs-Leistungsschaltern bei Auftreten generatornaher Kurzschlussströme mit ausbleibenden Nulldurchgängen

BTU Cottbus, 11.03.2011

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr.-Ing. K. Pfeiffer

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H. Schramm

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H. Schwarz

Ying, Shaoqing

Auswirkungen auf die Niederspannungsnetze bei hoher Penetration von innerstädtischen Photovoltaikanlagen und Elektrofahrzeugen

BTU Cottbus, 25.10.2011

Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr.-Ing. G. Lappus

Erster Gutachter: Prof. Dr.-Ing. H. Schwarz

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. K. Pfeiffer

Mit dem Focus auf energiepolitische und energietechnische Entwicklungen im deutsch-polnischen-tschechischen Länderdreieck ist man dicht an der Ausrichtung der Lehrstühle und den aktuellen Fragestellungen der Europapolitik.

Im Anschluss der EEEIC – Student Conference wurden traditionell innerhalb von Workshops energietechnische Unternehmen besichtigt. Höhepunkte waren das Generatorwerk der Alstom AG in Wroclaw, das Pumpspeicherkavernenkraftwerk Dlouhe Strane, ein Siemens Motorenwerk, die TU Ostrava und die Maschinenfabrik Vitkovice.

Hierfür möchten wir uns nochmals recht herzlich für die Organisation bei Dr.-Ing. Radomir Gono, Dr. Przemysław Janik und Dr. Zbigniew Leonowicz bedanken.

Als Ausblick steht nunmehr der 11. Kongress 2012 mitten in der Vorbereitung und wird uns durch Polen, Tschechien und Österreich führen.

Nähre Angaben zum wissenschaftlichen Kongress finden Sie unter www.eeeic.eu.

4 Forschung

4.1 Schwerpunkte am Lehrstuhl

Die Forschung im Bereich der Energieverteilung und Hochspannungstechnik konzentriert sich in den letzten Jahren auf folgende Schwerpunkte:

1. **Netzintegration erneuerbarer Energien**
Neben den großen Netzstudien für das Land Brandenburg, die im Auftrag des Brandenburgischen Wirtschaftsministeriums zusammen mit den Brandenburger Netzbetreibern erarbeitet wurden, lag darüber hinaus der Schwerpunkt im Bereich der Systemführung. Nachdem im Zeitraum 2008-2010 am Aufbau des kommerziellen Netzforschungs- und Trainingszentrums GridLab mitgearbeitet wurde, steht mit dem Umzug des Lehrstuhls in die neuen Räumlichkeiten des Instituts für Energietechnik der dortige Aufbau eines universitären Systemsimulators für Forschungs- und Lehrzwecke auf der Tagesordnung. Dieses Vorhaben wird von 50Hertz Transmission finanziert und begleitet.
2. **Hochspannungsleistungsschalter**
Gemeinsam mit Siemens Schaltwerk Berlin wurde eine Forschergruppe mit maßgeblicher Unterstützung von Prof. Schramm etabliert, die grundlegende Fragestellungen zur kapazitiven Spannungsverteilung an Schaltstrecken von Leistungsschaltern, zu alternativen Materialien für Steuerwiderstände und zur Problematik ausbleibender Nulldurchgänge untersucht.
3. **Optimierung von Kraftwerkseigenbedarfsnetzen**
Neben zahlreichen Analysen und Konzeptstudien zur zukünftigen Ausgestaltung dieser Netze werden weiterhin auch die Qualitätssicherung und Projekt-Realisierungsbegleitung von Neubaukraftwerken im Vordergrund stehen. Weiterhin werden die umfangreichen Arbeiten zum Einsatz hochtemperatur-supraleitender Strombegrenzer fortgesetzt.
4. **Elektromobilität**
Mit dem Großprojekt „e-SolCar“ werden vordergründig Konzepte zum optimalen Zusammenspiel von innerstädtischer Photovoltaik, Batteriezwischenspeicherung und Ladeverhalten der Elektroautos entwickelt, um mit dem Betrieb derartiger Microgrids die öffentlichen Niederspannungsnetze nicht zu stark zu belasten.

4.2 Projekte

4.2.1 Komplexer Einsatz von Strombegrenzern im Kraftwerkseigenbedarfsnetz auf Basis der HTSL-Technik

Martin Ruge

Im Rahmen des Forschungsprojektes „InnoProfile“ wird bis zum Jahr 2013 an der BTU Cottbus an der Entwicklung von Verfahren und Konzepten für zukünftige „CO₂-arme Kraftwerke“ gearbeitet. Der Lehrstuhl Energieverteilung und Hochspannungstechnik bearbeitet in diesem Zusammenhang das Arbeitspaket „Komplexer Einsatz von Strombegrenzern im Kraftwerkseigenbedarfsnetz auf Basis der HTSL-Technik“. Durch den Einsatz einer Kurzschlussstrombegrenzung sollen Kosteneinsparpotentiale erschlossen werden, da Anlagen und Betriebsmittel geringeren thermischen und dynamischen Belastungen ausgesetzt sind.

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung der Auswirkungen von HTSL-Strombegrenzern auf die Struktur des Kraftwerkseigenbedarfes und der dazugehörigen Betriebsregime sowie die Entwicklung und Ableitung entsprechender Lösungsvorschläge bzw. Schlussfolgerungen für künftige Eigenbedarfsnetze. Mit der Bearbeitung des Arbeitspaketes wurde im Januar 2009 begonnen. Es beinhaltet die folgenden Bearbeitungsschwerpunkte:

1. Modellierung des Kurzschlussstrombegrenzers und Modellrechnungen
2. Erarbeitung neuer Eigenbedarfs- und Schutzkonzepte

Um die Auswirkungen des Einsatzes von HTSL-Strombegrenzern an verschiedenen Einsatzorten im Kraftwerkseigenbedarfsnetz mit Hilfe eines Netzberechnungsprogramms ermitteln zu können, ist es notwendig, eine modelltechnische Nachbildung des Begrenzers zu entwickeln. Im Rahmen des ersten Bearbeitungsschwerpunktes wurde dazu ein Modell, mit dem das elektrische und thermische Verhalten abgebildet werden kann, entworfen und in der Netzberechnungssoftware PowerFactory implementiert.

Mit Hilfe von Messprotokollen einer Leistungsprüfung eines realen HTSL-Strombegrenzers wurde das Verhalten des Simulationsmodells getestet und eine gute Übereinstimmung ermittelt. Im weiteren Verlauf des ersten Bearbeitungsschwerpunktes wurde das Verhalten des Strombegrenzermodells bei subtransienten und quasistationären Motoranlaufvorgängen untersucht.

Im Rahmen des Projektes wurde durch den Bearbeiter des Arbeitspaketes „Konzeptentwicklung eines CO₂-armen Kraftwerksblocks“ ein verfahrenstechnisches Blockkonzept für ein Oxyfuel-Kraftwerk entworfen. Auf Grundlage der dort ermittelten Leistungen für die Eigenbedarfsverbraucher, wird derzeit an geeigneten Konzepten zur Integration der neuen zusätzlichen Verbraucher gearbeitet. Weiterhin werden Möglichkeiten zur Einbeziehung von supraleitenden Kurzschlussstrombegrenzern evaluiert.

4.2.2 Einsatz von resistiven HTSL-Strombegrenzern im Eigenbedarf von Vattenfall-Neubaukraftwerken

Klaus Pfeiffer, Martin Ruge

Der Einsatz von hochtemperatur-supraleitenden Strombegrenzern ist ein langfristiges Forschungsprojekt, das an der BTU Cottbus im Auftrag von Vattenfall Europe Generation bearbeitet wird. Nach dem erfolgreichen Abschluss der theoretischen Grundlagenuntersuchungen im vorangegangenen Berichtszeitraum konnte nunmehr die praktische Umsetzung und Erprobung in Angriff genommen werden. Mit der Firma Nexans SuperConductors (Hürth) wurde ein Partner gefunden, der einen Prototypen auf Massivmaterialbasis nach den Vorgaben des Lastenheftes entwickelte und fertigte. Der Prototyp 12-800 wurde im Januar 2010 in einer 10-kV-Unterverteilung des Eigenbedarfsnetzes des KW Boxberg für einen ca. einjährigen Feldtest in Betrieb genommen. Vorangegangen waren Kurzschlussversuche, die im IPH Berlin zum Nachweis der Begrenzungseigenschaften durchgeführt wurden.

Im Zuge des Feldtestes konnten vielfältige Betriebserfahrungen durch die umfangreiche Unterstützung des Kraftwerkspersonals gesammelt werden. Die Erprobung des Prototyps 12-800 wurde Mitte 2011 abgeschlossen.

Parallel zum Feldversuch mit dem Massivmaterialbegrenzer wurde im Projekt ENSYSTROB (Entwicklung eines neuartigen supraleitenden YBCO-Tape Strombegrenzers; Projektteam: FZ Karlsruhe, Nexans, TU Dortmund, BTU Cottbus) ein Begrenzer auf Basis supraleitender Dünnschichtbänder entwickelt. Der Aufgabenumfang der BTU Cottbus umfasst hierbei die Erarbeitung der erforderlichen Spezifikationen und die Begleitung des Feldtests. Seit Herbst 2011 wird dieser Begrenzer ebenfalls im Kraftwerk Boxberg im Feldtest erprobt, wobei hierzu auf die schon vorhandene Infrastruktur des vorangegangenen Feldtests zurückgegriffen werden konnte. Noch in 2011 soll das geplante Versuchsprogramm abgeschlossen werden.

4.2.3 Untersuchung der Auswirkungen eines steigenden Anteils von Hochspannungskabeln in den Hochspannungsnetzen der envia NETZ

Klaus Pfeiffer, Martin Ruge

Aufgrund der weiterhin ansteigenden regenerativen Elektroenergieerzeugung wird der Ausbau der Verteilnetze immer dringender. Die Problemstellungen beim EEG-getriebenen Netzausbau sind jedoch vielfältig und werden unter anderem durch eine mangelnde Akzeptanz für Netzausbaumaßnahmen in Freileitungsausführung bestimmt. Der Deutsche Bundestag hat am 30. Juni 2011 ein „Gesetz über Maßnahmen zur Beschleunigung des Netzausbaus Elektrizitätsnetze“ verabschiedet. Das Gesetz beinhaltet insbesondere Regelungen zur Beschleunigung des Netzausbaus in den Übertragungsnetzen aber auch Regelungen zum Ausbau der Verteilnetze in der Hochspannungsebene, bei denen zukünftig Hochspannungskabel in Erdverlegung der Freileitung vorzuziehen sind.

Der somit zu erwartende großflächige Einsatz von Hochspannungskabeln stellt aus technischer Sicht einen tief greifenden Einschnitt für die Netzplanung und den Netzbetrieb dar. Die envia als großer ostdeutscher Netzbetreiber hat deshalb zusammen mit der BTU Cottbus ein gemeinsames Arbeits- und Forschungsprojekt zur Untersuchung der Auswirkungen des möglichen wachsenden Anteil von Hochspannungskabeln in den 110-kV-Netzen der envia NETZ vereinbart. Zentrale Fragestellungen sind hierbei Untersuchungen zu den Auswirkungen auf die Sternpunktterdung und die sich ergebenden vielfältigen Konsequenzen aus einer möglichen Sternpunktumstellung.

Das Projekt wurde im Mai 2011 begonnen und ist für eine Dauer von drei Jahren ausgelegt.

4.2.4 Weiterführende Optimierung im Eigenbedarf von Kraftwerken der Vattenfall Europe Generation

Günter Pfeiffer, Klaus Pfeiffer

Die seit dem Jahr 2002 bestehende wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit mit Vattenfall Europe Generation zu Themenstellungen im elektrischen Eigenbedarf von Braunkohlekraftwerken wurde auch in diesem Berichtszeitraum fortgesetzt. Im Folgenden soll kurz auf die Schwerpunktthemen eingegangen werden.

Qualitätssicherung und Projekt-Realisierungsbegleitung

Im Rahmen dieses Themas werden für die beiden Neubaukraftwerke Boxberg R und Moorburg planungsbegleitende Auslegungsberechnungen und Qualitätssicherungs-Kontrollrechnungen nach Anforderung durchgeführt. Insbesondere sind dabei auch spezielle Probleme der Kabelauswahl und des Selektivschutzes inbegriffen.

Eigenbedarfskonzepte unter Berücksichtigung zukünftig verfügbarer Technologien

Innerhalb dieser Thematik wurden die Auswirkungen des Einsatzes von Kurzschlussstrombegrenzern auf den Kraftwerksbetrieb weiter untersucht. Schwerpunktmäßig standen dabei die Auswirkungen des Einsatzes von Strombegrenzern auf die bestehenden Umschaltkonzepte im Mittelpunkt.

Weiterführende Untersuchungen zum Einsatz von Kurzschlussstrombegrenzern im Kraftwerkseigenbedarf

Zentrales Thema war hierbei die Begleitung von Vorbereitung und Durchführung des Feldtests mit einem HTSL-Strombegrenzerprototypen (siehe Projekt „Einsatz von resistiven HTSL-Strombegrenzern im Eigenbedarf von Vattenfall-Neubaukraftwerken“). Während der HTSL-Strombegrenzer in der Mittelspannungsebene zum Einsatz kommt, wird für die Niederspannungsebene das Konzept der Kurzschlussstrombegrenzung auf Stromrichterbasis weiter verfolgt. Diese Aufgabenstellung wird durch den Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgung der Universität Erlangen-Nürnberg (Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. G. Herold) bearbeitet, der das Prinzip einer dynamischen Kurzschlussstrombegrenzungseinrichtung auf Basis einer sechspulsigen Thyristorbrückenschaltung (DKSBE) schon weit entwickelt hat. Im Ergebnis der theoretischen Untersuchungen wurde die generelle Eignung der DKSBE für den Einsatz in Kraftwerkseigenbedarfsanlagen nachgewiesen. Die Arbeiten sollen mit der weiteren Erprobung des Labormusters an der Universität Erlangen-Nürnberg fortgesetzt werden. Die BTU erarbeitet dazu die Anforderungen und koordiniert die Arbeiten.

Modellierung rückspeisefähiger Abnehmer

Im Rahmen dieser Aufgabenstellung wurde der Kurzschlussstrombeitrag leistungsstarker stromrichtergespeister Antriebe im Kraftwerkseigenbedarf tiefgehend untersucht. Die Arbeiten wurden vom Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. habil. D. Stade in Zusammenarbeit mit Dr. Malsch (P&M Power Consulting) durchgeführt. Aufbauend auf einer Systematisierung der Stromrichtertypen unter dem Gesichtspunkt ihres Kurzschlussstromanteils wurde eine Software zur Berechnung des zeitlichen Kurzschlussstromverlaufs der stromrichtergespeisten Antriebe entwickelt. Darüber hinaus ist ein Tool zur Berechnung von Anlauf- und Kurzschlussvorgängen von Drehstromasynchronmotoren entwickelt worden.

4.2.5 Netzintegration Erneuerbarer Energien in Brandenburg

Klaus Pfeiffer, Harald Schwarz, Alexander Feige, Andre Fuchs, Tobias Porsinger

Bereits im Jahr 2008 wurde durch die BTU Cottbus eine erste Studie zur Netzintegration der Erneuerbaren Energien in Brandenburg im Auftrag des Brandenburger Wirtschaftsministeriums erarbeitet. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien wird jedoch von einer Vielzahl sich ändernder Faktoren beeinflusst (rechtliche Rahmenbedingungen, Akzeptanzfragen u.ä.). Vor diesem Hintergrund bedürfen Prognosen zum Ausbau der Erneuerbaren Energien einer ständigen Aktualisierung. Dadurch bedingt ist auch die Ermittlung des Netzausbaubedarfs laufend anzupassen. Das Ministerium für Wirtschaft und Europaangelegenheiten hat deshalb die BTU Cottbus im Dezember 2009 mit der Weiterentwicklung der Netzstudie aus dem Jahr 2008 beauftragt. Wesentliche Schwerpunkte der Studie sind:

- Prognose für die EEG-Einspeisung in Brandenburg,
- Ermittlung der Auswirkungen auf die Brandenburger Verteilnetze und den Brandenburger Teil des Übertragungsnetzes (Überprüfung der bestehenden Netzausbaukonzepte der Brandenburger Netzbetreiber),
- Erarbeitung von Handlungsempfehlungen.

Die Untersuchungen wurden in enger Zusammenarbeit mit den Brandenburger Regionalen Planungsgemeinschaften und den Netzbetreibern 50Hertz Transmission, E.ON edis, enviaNetz und der WEMAG durchgeführt.

Die Studie zeigt, dass Brandenburg als Flächenland enorme Potenziale für die Nutzung von Erneuerbaren Energien hat. Die größten Zuwachsraten sind bei der Windenergie und der Photovoltaik (insbesondere bei den leistungsstarken Freiflächenanlagen) zu erwarten. Damit wird das bereits heute bestehende Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch weiter massiv verschärft. Dies bedeutet gewaltige Herausforderungen für den Ausbau der Energieversorgungsnetze. Bei vollständiger Integration der prognostizierten EEG-Leistungen sind im Brandenburger Teil des Übertragungsnetzes auf ca. 600 km Trassenlänge und in den Brandenburger 110-kV-Verteilnetzen auf ca. 1.500 km Trassenlänge Freileitungen neu zu bauen. Unter Berücksichtigung des weiterhin erforderlichen Aus- bzw. Neubaus von Umspannwerken ergeben sich Investitionen in Höhe von ca. 2 Mrd. €. Durch den starken Zubau von Photovoltaikanlagen auf Dachflächen wird auch immer mehr Netzausbau in der Mittel- und Niederspannungsebene erforderlich. Hierfür wurden Netzausbaukosten von ca. 134 Mio. € ermittelt.

Die Studie verdeutlicht, dass die Energieversorgungsnetze zentrale Elemente einer stabilen und sicheren Energieversorgung sind, deren technische Belange wieder verstärkt in den Vordergrund gestellt werden müssen. Die Studie steht auf den Internetseiten des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten zum Download bereit.

4.2.6 Pilotprojekt „intelligente Zähler für Forst“ der Netzgesellschaft Forst (Lausitz)

Seit Oktober 2010 führen die Netzgesellschaft Forst (Lausitz) und die umetriq Metering Services GmbH im Rahmen des Energieeffizienzprogramms Forst einen Feldtest mit intelligenter Zählertechnologie (Smart Meter) durch. Dabei wird die neue Zählergeneration sowohl in Plattenbauten und Mehrfamilienhäusern als auch in Einfamilienhäusern erprobt. Zum Einsatz kommen Zähler aller Sparten (Strom, Gas, Wasser und Wärme). Das Pilotprojekt umfasst ca. 1.300 Haushalte und einen Roll-out von ca. 1.700 Zählern nebst der dazugehörigen Kommunikationsinfrastruktur. Diese sorgt für eine durchgängige Datenübertragung vom Zähler bis in die verarbeitenden IT-Systeme. Ein Energieportal zur Visualisierung der Verbrauchsdaten wurde entwickelt und online geschaltet, um den Pilotkunden Einsicht in ihren Energieverbrauch zu bieten.

Aufgrund des hohen Innovationscharakters des Pilotprojektes, wie z.B. der Mehrspartenfähigkeit der verwendeten Zähler, zählt das Projekt zu den herausragenden länderübergreifenden Modellvorhaben des Clusters Energietechnik Berlin-Brandenburg. Die BTU begleitet dieses Projekt wissenschaftlich über den gesamten Projektzeitraum (01.02.2011 - 31.10.2012). Untersuchungsgegenstände der BTU sind u.a. eine Zusammenstellung deutschlandweit laufender und geplanter Smart Meter Projekte und eine anschließende Gegenüberstellung des Pilotprojektes in Forst mit den anderen Projekten. Des Weiteren wird eine Darstellung des Kundennutzens von Smart Metern im eigenen Haushalt für die Teilnehmer am Projekt vorbereitet und auf einer Informationsveranstaltung in Forst den interessierten Nutzern näher gebracht. Ferner wird im Laufe des Projektes ein Konzept zur Weiterentwicklung des Themas Smart Meter über Smart Grid hin zu Smart City erstellt. Ausgangsbasis ist das Projekt e-SolCar an der BTU, in dem neben den Untersuchungen von Elektrofahrzeugen und Ladeseiten, die eine Nutzung der Fahrzeugbatterien als Speicher im Netz ermöglichen sollen, auch das Thema der Netzintegration von innerstädtischer Stromerzeugung aus Photovoltaik untersucht wird. Insbesondere wird hier die möglichst umfassende Nutzung der regenerativ erzeugten Energie in Elektrofahrzeugen betrachtet.

4.2.7 Untersuchungen zu Hybridkraftwerkskonzepten

Andre Fuchs

Im Rahmen einer F&E Vereinbarung mit Vattenfall Europe Generation werden Studien zu Hybridkraftwerkskonzepten erstellt. Das Hybridkraftwerk besteht ähnlich wie ein virtuelles Kraftwerk aus einem Mix von verschiedenen Elektroenergieerzeugungsanlagen. Im Unterschied zum virtuellen Kraftwerk sind diese aber nicht dezentral über das Versorgungsnetz verbunden und weiträumig verteilt sondern verfügen über einen gemeinsamen Einspeisepunkt in das Elektroenergieversorgungsnetz. Die Auslegung der Einzelkomponenten eines Hybridkraftwerkes (u.a. Elektrolyseur, Windpark und andere regenerative Einspeiser) spielt in dieser Betrachtung ebenso eine tragende Rolle wie die Bewertung von Konzepten zur Nutzung der regenerativen Überschussenergie. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt in der Konzeptionierung eines Zusammenspiels von regenerativen Erzeugungsanlagen und konventionellen Braunkohlekraftwerken. Unter der Prämisse der bedarfsgerechten Elektroenergieversorgung soll zusätzlich untersucht werden, welchen Fahrplan ein solches System technisch realisierbar und ökonomisch sinnvoll nachfahren kann. Das Projekt ist für eine Zeitdauer von 2 Jahren ausgelegt.

4.2.8 Smart MV-Grid Falkenhagen

Stephan Choschzick

Im Projekt sollen Lösungsansätze zur Integration der fortwährend steigenden Anzahl von EEG-Erzeugungsanlagen in der Mittelspannungsebene untersucht werden. Dabei gliedern sich die von der BTU Cottbus übernommenen Arbeiten in das Projekt "Smart MV-Grid Falkenhagen" der E.ON edis AG ein, welches Bestandteil eines konzernweiten Gesamtprojektes ist.

Zielstellung hierbei ist das Aufzeigen von effizienten Optionen zur Lösung derzeitiger sowie zukünftiger Spannungs- und Kapazitätsprobleme infolge hoher Einspeisung aus EEG-Erzeugungsanlagen in Mittelspannungsnetze durch den Einsatz von neuen Kommunikationstechnologien. Dabei soll auf die technisch und ökonomisch sinnvolle Umsetzung besonders eingegangen werden.

Es ergeben sich im Rahmen des Projektes folgende Aufgabenstellungen:

- Einsparung von Investitionen durch Ausschöpfen der vorhandenen Netzkapazität,
- Minimierung der Abschaltung von EEG-Anlagen durch Last-und Einspeisesteuerung,
- Senkung der Auslastung von Netzbetriebsmittel bei Einhaltung der Qualitätsparameter,
- Identifizierung von möglichen Speichertechnologien, welche zu den genannten Aufgabenstellungen einen konkreten, wirtschaftlichen Beitrag leisten können.

4.2.9 Untersuchungen zu virtuellen Kraftwerken

Andre Fuchs

Um die zukünftige Elektroenergieversorgung sicher und bedarfsgerecht gewährleisten zu können, müssen Strategien gefunden werden, um die stark fluktuierende Erzeugung aus alternativen Energiequellen (insbesondere der Windenergie) in das bestehende System der Energieversorgung zu integrieren. Die größte Herausforderung besteht darin, eine gleichmäßige und lastorientierte Versorgung zu erreichen.

Das virtuelle Kraftwerk stellt eine mögliche Lösungsstrategie im Rahmen dieser Problemstellungen dar. Als solches bezeichnet man den virtuellen Zusammenschluss von im Netzbereich räumlich verteilten Erzeugern, welche zum einen aus alternativen Energiequellen (hauptsächlich Wind), zum anderen aus konventionellen Energieerzeugungseinheiten (wie Braunkohle und Gas) und herkömmlichen Speichermöglichkeiten (z.B. Pumpspeicherkraftwerke) bestehen. In einer erweiterten Form des virtuellen Verbundsystems werden steuerbare Lasten in das System integriert.

In einem Forschungsvorhaben mit der Vattenfall Europe Generation AG werden die technischen Möglichkeiten und die ökonomischen Rahmenbedingungen für ein solches virtuelles Kraftwerk untersucht. Dabei soll ein großer Windpark, ein Braunkohleblock, ein Gasturbinenblock und ein Pumpspeicherkraftwerk zu einem virtuellen Verbundsystem zusammengeführt werden. Hierbei sollen mögliche Prognoseabweichungen durch den konventionellen Kraftwerkspark ökonomisch sinnvoll ausgeglichen werden.

In den verschiedenen Arbeitspaketen werden die Anforderungen, welche sich aus der stochastischen Einspeisung eines 280 MW Windparks ergeben, an den konventionellen Teil des virtuellen Kraftwerks bestimmt. Dabei wird aus den technischen und ökonomischen Nebenbedingungen ein kostenoptimaler Fahrplan zur bedarfsgerechten Bereitstellung von Elektroenergie entwickelt. Des Weiteren wird die Problematik der Informations- und Kommunikationstechnik und deren Umsetzung in der Leittechnik begleitend untersucht.

4.2.10 Projekt e-SolCar

Projektleiter: Prof. Harald Schwarz

Projektkoordinator: Dr.-Ing. Artur Napierala

Mitarbeiter: Tobias Porsinger, Erik Federau, Ievgen Shalaginov, Viktor Kalimbach, Matthias Peglau, Vasilij Zhilijaev, Michael Nickusch

Modellregionen zur „E-Mobility“ gibt es bundesweit einige. Das Besondere des unter der Federführung der BTU Cottbus angesiedelten Berlin-Brandenburgischen Leitprojektes zur Elektromobilität „e-SolCar“ ist die Tatsache, dass die Wechselwirkung zwischen dem Batterie-Stromspeicher in bidirektionaler Richtung zum Stromnetz untersucht wird. Dies bedeutet, dass sowohl das „Betanken“ der Batterie mit Strom als auch die Rückführung des Stroms aus der Batterie ins Energienetz untersucht wird. Damit ist die Idee verbunden, Autos als rollende Zwischenspeicher einzusetzen, um Unter- und Überlastung der Stromnetze abfedern zu können. Hintergrund der großen Schwankungsbreite der Stromnetze ist das Energieeinspeisungsgesetz, wonach erneuerbare Energien jederzeit ins Netz abgegeben werden können.

Der Startschuss für „e-SolCar“ fiel im Juni 2011 als das Land Brandenburg die Fördermitelanträge bewilligt hat. Seit dem 18. August steht nun der erste elektrobetriebene Opel Corsa in Cottbus, das erste von insgesamt 50 Fahrzeugen, die für das Projekt bis Anfang 2012 beschafft werden. Das Projekt von BTU Cottbus, Vattenfall Europe Generation AG und German E-Cars Research & Development GmbH hat ein Gesamtprojektvolumen von 9 Mio. Euro. Die BTU erhält davon knapp 2,2 Mio. Euro, wobei 83 Prozent aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und 17 Prozent vom Land Brandenburg bereitgestellt werden.

In der für drei Jahre angelegten Projektlaufzeit wird die Funktionsweise von Elektrofahrzeugen als Stromspeicher sowie deren Einsatz im Alltag untersucht. Dazu wird eine Flotte von 50 Fahrzeugen zur Verfügung gestellt. Zentrales Ziel der Untersuchungen ist es, die Stabilisierung der Stromnetze durch die Nutzung von Elektrofahrzeugen zu erreichen, da sich durch den Zubau der regenerativen Energien wie Wind und Photovoltaik die Anforderungen an die Stromnetze erhöhen. Das Forschungsprojekt soll Aufschluss darüber geben, wie die Batterie als teuerste Komponente eines E-Cars auch als aktiver Teil in das Stromnetz integriert werden kann.

Da bei der Nutzung von Autos als Stromspeicher die Energieeinspeisung und -auspeisung eine bedeutende Rolle spielt, wird in dem Forschungsprojekt eine intelligente bidirektionale Ladeinfrastruktur entwickelt. Dazu gibt der Fahrzeugnutzer beim Anschluss des Fahrzeuges an die Ladesäule vor, zu welchem Zeitpunkt er das Fahrzeug vollgeladen benötigt. Bei einem Überangebot an Elektroenergie in dieser Ladephase, z.B. bei Starkwind und hoher Sonneneinstrahlung, werden die Elektrofahrzeuge schneller geladen. Wird in der Ladephase Energie im Versorgungsnetz benötigt, speisen die Batterien Energie in das Netz zurück, dabei wird sichergestellt, dass das Fahrzeug zu dem vom Nutzer gewünschten Zeitpunkt vollständig geladen ist.

Um diese Speicherfunktion auch kostenseitig abzubilden, beschäftigt sich das Forschungsvorhaben zudem mit der Entwicklung von speziell auf Elektrofahrzeuge zugeschnittenen Stromtarifen.

Innerhalb des Projekts „e-SolCar“ übernimmt die BTU Cottbus die Aufgaben zur Entwicklung der benötigten Ladetechnologie, die Analyse der Auswirkungen auf die Stromnetze sowie die gesamte wissenschaftliche Begleitung. Dem Projektpartner German E-Cars Research & Development GmbH, einer Tochter der Nordhessischen German E-Cars GmbH, obliegen sowohl die Entwicklung fahrzeugtechnischer Produkte als auch die Umrüstungen, Reparaturen und Wartungsarbeiten. Das mittelständische Unternehmen, das sich für dieses Projekt eigens in Cottbus angesiedelt hat, widmet sich zudem der Frage, welche Komponenten zur Erhöhung der Reichweite von Elektrofahrzeugen ausschlaggebend sind. Das Augenmerk von Vattenfall liegt bei diesem Projekt auf der grundsätzlichen Frage

der Stabilisierung der Stromnetze. Zugleich soll der Einsatz der Elektrofahrzeuge im Tagesbetrieb einen Beitrag leisten, Emissionen und Treibstoffkosten zu verringern. Bei der Versuchsflotte wird es sich um 30 Pkw, 16 Kleintransporter sowie 4 Geländefahrzeuge handeln. Die durch Vattenfall zur Verfügung gestellten Fahrzeuge werden an die BTU und öffentliche Einrichtungen übergeben. Vattenfall wird einen Teil der E-Cars an seinen Standorten in der Lausitz einsetzen. Die vollständige Fahrzeugflotte wird im Februar 2012 zur Verfügung stehen. Die EU-Förderung steht unter dem Slogan „Investition in Ihre Zukunft!“.

4.2.11 Projekte im Hochspannungslabor

Dirk Lehmann, Lothar Kleinod, Holger Häusler, Christian Kranisch

Im Hochspannungslabor des Lehrstuhls Energieverteilung und Hochspannungstechnik wurden in den Jahren 2010 und 2011 folgende Projekte realisiert:

- Isolationsuntersuchungen von Hoch- und Mittelspannungsanlagen
- Ableitstrommessung an Mittelspannungsholzmasten
- Kippschwingungsmessung an Hochspannungswandlern
- Grundlagenuntersuchungen zum Durchschlags- und Teilentladungsverhalten von teils verflüssigtem SF₆
- Grundlagenuntersuchungen zum Durchschlagsverhalten von Luft bei Blitzstoßspannung mit verschiedenen Overshootfrequenzen
- Grenztemperaturprüfungen an Hochspannungsleistungsschaltern und Hochspannungstrennschaltern
- Vereisungsprüfungen an Hochspannungstrennschaltern
- Netzqualitätsanalysen zu Leistungsfluktuationen in Windparks
- Diverse EMV-Verträglichkeitsmessungen

5 Prüf- und Messeinrichtungen

5.1 Räumlichkeiten

Die große Hochspannungshalle besitzt Achsmaße von 30 x 24 x 15 m (LxBxH). Die Zufahrt erfolgt über ein Tor 4,0 x 4,2 m (BxH), wobei die Torschwelle für eine Achslast von 15 t ausgelegt ist. In der Halle beträgt die zulässige Flächenpressung 10 t/m². Lasten bis 8 t können über den Hallenkran bewegt werden, darüber steht bis 20 t eine Luftkissenanlage zur Verfügung. Die Halle weist eine Vollschringung mit einer Dämpfung von ca. 100 dB im Bereich 10 kHz bis 1 GHz auf.

Als Nebenräume existieren:

kleine Hochspannungshalle mit 4 Versuchsständen;
Optik-Labor;
Elektronik-Labor;
EMV-Labor;
Klimakammer;
Wandler-Labor;
Netzanalyse-Labor

5.2 Wechselspannungsprüftechnik

1 phasig

3 Plätze 350 kV, 175 kVA bzw.
1 Platz 350/700/1000 kV; 400/400/250 kVA
alternative Speisung über Maschinenumrichter 10 - 100 Hz
1 Platz 100 kV, 20 kVA
2 Plätze 100 kV, 5 kVA

3 phasig

1 Platz 600 kV, 525 kVA

5.3 Wechselspannungsmesstechnik

3 Messteiler, kapazitiv a 350 kV, kaskadierbar mit 1000 kV Kopfelektrode
3 Messteiler, kapazitiv a 100 kV
9 Messteiler, ohmsch-kapazitiv a 50 kV, kaskadierbar und freilufttauglich für Vor-Ort-Messungen
2 Kugelfunkenstrecken 500 mm bzw. 250 mm
1 TE-Messplatz mit Sperrdrossel bis 700 kV
1 TE-Messplatz mit Sperrdrossel bis 100 kV
1 Druckgaskondensator, 400 kV, 100 pF
1 Druckgaskondensator, 100 kV, 100 pF
diverse C, tan δ - Messbrücken 1 induktiver Normalspannungswandler 110/60 kV, 200 ppm
diverse Scheitelwert- bzw. True-RMS Messgeräte

5.4 Wechselstrommess- und prüftechnik

1 Hochstromanlage 10 kA DB, 40 V
1 Hochstromanlage 1 kA DB, 5 V
1 Messstromwandler 10 kA CL 0,5
1 Normalstromwandler 6 kA, 50 ppm
diverse Stromzangenwandler bzw. Shunts

5.5 Gleichspannungsmess- und prüftechnik

1 Gleichspannungsanlage 1600 kV, 10 mA mit 1000 Hz Erregermaschine
1 Gleichspannungsanlage 400 kV, 20 mA
1 Gleichspannungsanlage 140 kV, 15 mA
4 Messteiler ohmsch a 500 kV kaskadierbar mit 2000 kV Kopfelektrode
1 Messteiler ohmsch a 400 kV
2 Messteiler ohmsch a 140 kV

5.6 Stoßspannungsmess- und prüftechnik

Stoßanlage 1800 kV-BIL bzw. 1400 kV-SIL, 90 kJ
aufrüstbar auf 2400 kV, 120 kJ

Stoßanlage 200 kV, 2,5 kJ
aufrüstbar auf 1000 kV, 25 kJ

3 Stoßteiler ohmsch-kapazitiv a 600 kV, kaskadierbar mit Kopfelektrode 1800 kV-BIL,
1400 kV-SIL
2 Stoßteiler ohmsch-kapazitiv a 200 kV
1 Stoßteiler ohmsch 1200 kV
diverse Scheitelspannungsmessgeräte
1 Platz mit digitalem Stoßspannungsauswertesystem
9 Stoßspannungsteiler für Vor-Ort-Messungen, 200 kV-BIL, 50 KV-AC
Die Stoßspannungsanlage kann zur Stoßstromanlage umgerüstet werden und erzeugt
dann 25 kA (8/20 (µs) bzw. 50 kA (4/10 (µs)).

5.7 Klimakammer

Innenabmessungen 7x5x7,95 m (LxBxH)
Tor 2x7 m (BxH)
Personenschleuse
Temperaturbereich -50 ... +80°C
Feuchte 10 ... 95 %
Belastbarkeit 5 t statisch plus 50 kN dynamisch
Durchführungen 350 kV AC, 1050 kV-BIL, 10 kA AC
Sprühwasser-Vereisungsanlage

5.8 Optik-Labor

2 optische Tische mit Schwingungs-Dämpfungssystem
diverse Justage- und Montageeinrichtungen
Lichtquellen, Empfänger, optisches Multimeter, Spektrometer, Mikroskop, 30 L-
Temperaturtruhe (-40° ... +180°C)
Polarisationsmessgeräte sowie diverse Polarisatoren

5.9 Elektronik-Labor

Leiterplattenentwurfssystem;
Funktionsgeneratoren;
6,5 bzw. 7,5 stellige Digitalmultimeter;
Speicheroszilloskope bis 8 GS/s und 8 Mbyte;
Entwicklungsplattform für S7-Steuerungen

5.10 EMV-Labor

1 Absorberkammer 7x4x4 m (3 m - Messstrecke) für Prüflinge bis 1x1x2 m (LxBxH);
Streifenleiter-Prüfanlage 24x6x6 m für Lokomotiven, Züge, Busse, Lkw;
Streifenleiter-Prüfanlage 10x7x8 m für Pkw, etc.;
1 GTEM-Zelle
2 Antennen 9 kHz ... 30 MHz;
2 Antennen 30 MHz ... 3 GHz;
Leistungsverstärker bis 100 W;
Feldmesssonden DC, 16 2/3, 50 Hz und bis 1 GHz;
Burstgenerator;
Surgegenerator;
ESD-Generator;
Netzunterbruchsimulator
diverse Einkoppelzangen
1 optische Übertragungsstrecke, 1 kHz – 1 GHz (50 m LWL)

5.11 Schutztechnik-Labor

Für das Fach „Schutz von Energieübertragungsnetzen“ wurde bereits 2002 ein Labor aufgebaut, das zur Vertiefung der Kenntnisse der Studenten in diesem Fach dient. Der Erwerb der verschiedenen Schutzrelais wurde u.a. über eine Förderung durch den VDE-Bezirksverein Lausitz e.V. möglich. Die Versuche an den Schutzrelais werden mit Seminaren zur Untersetzung des Vorlesungsinhaltes und mit Rechenübungen vorbereitet.



Schutztechniklabor

Folgende Inhalte werden behandelt:

Verschiedene Schutzprinzipien mit Beispielen

Anwendung von ATP (alternativ transient program)

Arbeit mit dem Omicron-System

Überstromzeitschutz	PM481	ALSTOM
Trafodifferentialschutz	PQ721	ALSTOM
Leitungsdifferentialschutz	7SD610	SIEMENS
Trafodifferentialschutz	7UT612	SIEMENS
Distanzschutz	7SA610	SIEMENS
Multifunktionsschutz	7SJ631	SIEMENS,
Einbindung der Schutzrelais in ein Netzmodell		
Fernbedienung der Schutzrelais		

5.12 Wandlermessplatz

- 1 kap. Normalspannungswandler 400 kV, 200 ppm;
- 1 ind. Normalspannungswandler 110/60 kV, 200 ppm;
- 1 Normalstromwandler 6 kA, 50 ppm;
- 1 Wandlermessbrücke auch mit Schnittstellen für nichtkonventionelle Wandler nach IEC-Entwürfen;
- 1 Spannungsbürde, elektronisch;
- 1 Strombürde, mechanisch

5.13 Netzanalyse-Labor

- Oszilloskope und Transientenrekorder bis 8 GS/s bzw. 8 MByte;
- 2 Analysesysteme 16 Kanal für Netzgrößen, Oberschwingungen, Flicker, Transiente mit optischer Übertragung zur Synchrontriggenung;
- 1 Relais-Prüfsystem zum Test aller gängigen Schutzrelais incl. Vektorsprungrelais sowie der Generierung von Echtzeitsignalen aus EMTP-Berechnungen;
- diverse Tastköpfe und Shunts;
- 9 gedämpft-kapazitiver Hochspannungsteiler (freilufttauglich und kaskadierbar) mit 50 kV AC / 200 kV BIL

5.14 Software

ABB-Calpos – Lastfluss, Kurzschluss; Oberschwingungen, dyn. Simulation, Distanzschutz und Selektivität, Kabeldimensionierung, Erdung

Sincal – Lastflussberechnung, Kurzschlussberechnung

ELEKTRA – Lastflussberechnung, Kurzschlussberechnung (symmetrische und unsymmetrische Fehler)

ATP-EMTP - transiente Ausgleichsvorgänge

CST EM Studio - Feldberechnung

Orcad / Pspice - Simulation elektronischer Schaltungen, Leiterplattenlayout

DigSILENT PowerFactory – dynamische und stationäre Netzberechnungen

diverse Software Pakete (z.B. **AutoCAD**, **MatLab**, **Maple**, **LabView**, **FAMOS** etc.)

6 Projektpartner und Arbeitskontakte

Die Darstellung der Projektpartner und Arbeitskontakte im Berichtszeitraum erfolgt in alphabetischer Reihenfolge und ist kein Maß für die Intensität der Kontakte.

ABB	Cottbus
ALSTOM – Transformatoren	Mönchengladbach
ALSTOM	Kassel
Deutsche Bahn AG	München
Deutsche Bahn Netz AG	Cottbus
Deutsche Eisenbahn Consulting	Cottbus
E.ON edis	Fürstenwalde
envia Netz	Halle
HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH	Dresden
LM Fiberglas	Dänemark
Pfiffner	Hamburg
Ritz Messwandler	Hamburg, Ludwigslust
Siemens PTD	Erlangen, Berlin, Frankfurt
Siemens TS	Erlangen
Stadtwerke Cottbus	Cottbus
Vattenfall Europe Generation	Cottbus
50Hertz Transmission GmbH	Berlin
Wehrwissenschaftliche Erprobungsstelle der Bundeswehr	Münster
Nexans SuperConductors	Köln/Hürth

7 Publikationen

7.1 Veröffentlichungen

Napierala, A.:

Electrical Behaviour of Conducting Silicone Rubber under Short High Current Stress

9th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Prag, Mai 2010

Ruge, M.; Pfeiffer, K.:

Development of a simulation model of a HTS-fault current limiter for the network computation software DlgSILENT PowerFactory

9th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Prag, Mai 2010

Pfeiffer, K.; Schwarz, H.:

Netzengpässe in Verteilnetzen und technische Lösungsmöglichkeiten

UmweltWirtschaftsForum, Volume 17, No. 4, S. 345 – 349, Springer Verlag Berlin/ Heidelberg, Dezember 2009

Dommerque, R.; Krämer, S.; Hobl, A.; Böhm, R.; Bludau, M.; Bock, J.; Klaus, D.; Piereder, H.; Wilson, A.; Krüger, T.; Pfeiffer, G.; Pfeiffer, K.; Elschner, S.:

First commercial Medium Voltage Superconducting Fault Current Limiters – Production, Test and Installation

IEEE/CSC & ESAS European Superconductivity News Forum (ESNF), No. 11, January 2010

Ying, S.; Schwarz, H.; Pfeiffer, K.:

Impact of an increasing penetration of urban photovoltaic systems and electric cars on the low-voltage networks

Proceedings of 21st International Conference on Electricity Distribution, 6-9 June 2011, Frankfurt/M., Paper 0806

Schwarz, H.; Pfeiffer, K.; Erbring, H.-P.; Zeidler, J.; Dorendorf, S.:

Anforderungen an zukunftsfähige Netze

Lektion 1 im Rahmen des Euroforum-Lehrgangs „Netzausbau-Aktuelle Herausforderungen an die Stromnetze“,

Euroforum-Verlag, Düsseldorf, 2011

Karge, L.; Pfeiffer, K.; Schwarz, H.:

Anforderungen an thermische Kraftwerksblöcke

ew, Jg. 110 (2011), Heft 24

7.2 Vorträge

Napierala, A.:

Innovatives Leitprojekt – e-SolCar Berlin Brandenburg

Abschlussworkshop Erneuerbare Mobilität für Brandenburg ZAB Potsdam,
26.09.2011

Napierala, A.:

e-SolCar – Elektromobilität aus regenerativem Strom

Nacht der kreativen Köpfe an der BTU, 15.10.2011

Napierala, A.:

Energy storage

REMOWE Konferenz Wroclaw, 24.11.2011

Pfeiffer, K.:

Strombegrenzer im Kraftwerkseigenbedarf

ZIEHL II – Tagung „Zukunft und Innovation der Energietechnik mit Hochtemperatur-Supraleitern“, 16./17.03.2010, Bonn

Pfeiffer, K.:

Kurzschlussstrombegrenzung in Kraftwerkseigenbedarfsnetzen – Einsatz von HTSL-Begrenzern

VDE-Vortragsreihe „Aktuelle Probleme der Elektrischen Energietechnik“, Ilmenau,
05.07.2010

Pfeiffer, K.:

Smart Grid – Lösungsansatz für die Integration der dezentralen Einspeisungen?

Forum Netzpartner 2010, 05.10.2010, MMZ Halle

Pfeiffer, K.:

Aktuelle Herausforderungen an die Stromnetze in Brandenburg

3. Energiefachtagung des GRW Kooperationsnetzwerkes Energiewirtschaft/ Energietechnologie des Landes Brandenburg, Cottbus, 25.05.2011

7.3 Veranstaltungen

Workshop: Auslegungsberechnungen für Elektroenergieversorgungsanlagen

(jährlicher Workshop im Rahmen des Energietages Brandenburg)

Moderation: Prof. Dr.-Ing. G. Pfeiffer

16.09.2010 Thema: Thermische und dynamische Wirkungen von Störlichtbögen in Schaltanlagen

15.09.2011 Thema: Schwerpunkte bei der Planung und Inbetriebsetzung der Eigenbedarfsversorgung von Kraftwerken

Exkursion für Studenten des Masterstudienganges „Power Engineering“

24.06.2010 Kraftwerk Boxberg IV, Block Q und Highvolt Prüftechnik Dresden

29.06.2011 Kraftwerk Schwarze Pumpe und Highvolt Prüftechnik Dresden

7.4 Referenzen

- Prüfung von Hochspannungsdurchführungen

Es erfolgten Teilentladungsgleichspannungs-, TE-Umpol- sowie AC-Prüfungen verschiedener Typen von Transformator- und Wanddurchführungen. Es erfolgten Prüfungen auf verschiedenen Spannungsebenen bis 920 kV. Die Teilentladungen (TE) wurden mittels eines TE-Messsystems aufgezeichnet und im Protokoll dargestellt.

- Schutzrelaisprüfung

Es wurden mehrere Schutzgeräte vom Typ SEG MRN 1 geprüft. Es erfolgten folgende Prüfungen:

Überspannungsschutz 2-stufig
Unterspannungsschutz 2-stufig
Überfrequenzschutz 2-stufig
Unterfrequenzschutz 2-stufig

- Prüfung der Vektorsprungfunktion

Für die Prüfung wurde ein Schutzgeräteprüfsystem vom Typ OMICRON CMC 156 mit Verstärker CMS 156 verwendet.

- Ortung von Erdschlüssen

Es wurden Möglichkeiten zur Ortung von Erdschlüssen im kompensiert betriebenen Mittelspannungsnetz untersucht. Hierzu erfolgten theoretische Betrachtungen sowie Simulationen mittels der Netzberechnungsprogramme ATP und CALPOS. Zur praktischen Überprüfung der Berechnungen wurden Versuche mit künstlich eingelegten Erdschlüssen in einem 20 kV-Energieversorgungsnetz durchgeführt.

- Untersuchung der Temperaturverteilung in Großtransformatoren

Zur Untersuchung der Kerntemperatur in einem Großtransformator wurden an vier Stellen Pt100 in einen Transformator Kern eingebracht. Die Temperaturverläufe wurden über einen längeren Zeitraum aufgezeichnet. Zusätzlich wurden Messdaten wie Strom, Spannung und Stufenschalterstellung verarbeitet. Weiterhin wurden grundlegende theoretische Fragen der Temperaturverteilung im Transformator sowie eingesetzte Berechnungsmethoden betrachtet. Dazu gehören DIN VDE 0532 und IEC Loading Guide.

- EMV in Kraftwerken

Formulierung von EMV-Anforderungen an Betriebsmittel und Komponenten in Kraftwerken auf Grundlage einer EMV-Analyse des Kraftwerksbereiches. Messtechnische Überprüfung der Vorgaben für magnetische und elektromagnetische Störfelder sowie exemplarische Messungen von Schaltstörungen.

- EMV in der Verkehrstechnik
Entwicklung und Optimierung einer impulsbasierten Störfestigkeitsprüfung für Schienen- und große Straßenfahrzeuge. Erstmals Nachweis der Störfestigkeit eines kompletten Schienenfahrzeugs gegen elektromagnetische Störfelder unter realen Betriebsbedingungen. Möglichkeit für Störfestigkeitsprüfungen an Straßenfahrzeugen.

- Blitzschutz am Cargolifter Luftschiff

Mit Hilfe von Versuchen in der Hochspannungshalle der BTU wird das Blitzschutzkonzept an einem skalierten Modell des CargoLifter vervollständigt. Die Ergebnisse ermöglichen eine Übertragung der Erfahrungen vom Modell auf das Luftschiff in seiner endgültigen Größe.

- Netzanalyse in Bergbaunetzen

Theoretische und praktische Untersuchungen mit Schwerpunkt Isolationsfestigkeit in Tagebaunetzen (regional) der Lausitz zur Überprüfung und Reduzierung der Auswirkungen direkter und indirekter atmosphärischer Entladungen sowie Erdfehlern in erdschlusskompensierten Netzen. Die Bandbreite der praktischen Untersuchungen reicht von hochauflösenden Netzanalysen in Mittelspannungsnetzen zur Erfassung definierter Schaltvorgänge bis zur örtlich ausgedehnten Langzeiterfassung atmosphärischer transients Überspannungen. Theoretische Abschätzungen zur Reproduktion aufgezeichneter Vorgänge untermauern die praktischen Erfahrungen und offerieren die Auswirkungen auf die Betriebsmittelisolation bei Fehlereintritt in den Netzen.

- Vereisung und Klimaprüfung

Umweltsimulationen an elektrischen Betriebsmitteln der Mittel- und Hochspannungstechnik wie Vereisung, Grenztemperaturprüfung, künstliche Alterung unter forcierten klimatischen Bedingungen geben Auskunft über die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der Betriebsmittel. Umfangreiche Erfahrungen in der künstlichen Alterung von Schaltanlagen finden zukünftig Anwendung in normabweichenden präzisierten Verfahren zur Klassifizierung der altersabhängigen Isolationsfestigkeit und -koordination für Schaltanlagenhersteller.

- Hochspannungsprüfungen

Dielektrische Untersuchungen, Entwicklungs- und Typprüfungen an Betriebsmitteln der Mittel- und Hochspannungstechnik dienen zur Überprüfung derer normkonformen und herstellerepezifischen Ausführung. Schwerpunkt im Hochspannungsprüfbereich liegt in der dielektrischen Spannungsfestigkeitsprüfung von Betriebsmitteln bis zu einer Bemessungsspannung von 525 kV. Auf Erfahrungen zur Prüfung von Mittelspannungsleistungsschaltern, Kabelendverschlüssen, Stecksystemen der Mittelspannungstechnik sowie Kabelendverschlüssen, Durchführungen Wandlern Schaltern der Schottisolatoren etc. der Hochspannungstechnik kann zurückgegriffen werden.