

Adresse:

Technische Universität Chemnitz
 Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
 Professur Energie- und Hochspannungstechnik
 D-09107 Chemnitz

Dienstsitz:

Reichenhainer Str. 70
 A.-F.-Weinholdbau, Zi. w317
 D-09126 Chemnitz
 Tel.: +49 371 531 33343
 Fax: +49 371 531 24239

Homepage:

<http://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/>

Anfahrt:

<https://www.tu-chemnitz.de/tu/lageplan/anfahrt.php> oder Anfahrtsskizze im hinteren Einband

Telefon, Fax, E-mail:

Name:	Telefon:	Fax:	E-mail:
Prof. W. Schufft	+49 371 531 33343	+49 371 531 833343	wolfgang.schufft@etit.tu-chemnitz.de
Prof. D. Amft	+49 371 531 33341	+49 371 531 833341	dietrich.amft@etit.tu-chemnitz.de
Sekretariat: A. Voit	+49 371 531 33142	+49 371 531 833142	antje.voit@etit.tu-chemnitz.de
Sekr. Nachw.-FG: K. Grünert	+49 371 531 38628	+49 371 531 838628	kerstin.gruenert@et.it.tu-chemnitz.de
Dr. T. Bocklisch	+49 371 531 32133	+49 371 531 832133	thilo.bocklisch@etit.tu-chemnitz.de
A. Göhlich	+49 371 531 38344	+49 371 531 838344	anne.goehlich@et.it.tu-chemnitz.de
A. Götz	+49 371 531 37199	+49 371 531 837199	andreas.goetz@etit.tu-chemnitz.de
A. Gürlek	+49 371 531 39859	+49 371 531 839859	akif.guerlek@etit.tu-chemnitz.de
S. Hadid	+49 371 531 38579	+49 371 531 838579	suleiman.hadid@etit.tu-chemnitz.de
A. Hoshmeh	+49 371 531 38717	+49 371 531 838717	abdullah.hoshmeh@etit.tu-chemnitz.de
D. Kühnert	+49 371 531 39939	+49 371 531 839939	david.kuehnert@et.it.tu-chemnitz.de
J. Lippold	+49 371 531 33341	+49 371 531 833341	juergen.lippold@etit.tu-chemnitz.de
K. Malekian- Boroujeni	+49 371 531 37648	+49 371 531 837648	kaveh.malekian-boroujeni@etit.tu-chemnitz.de
St. Merkel-Krell	+49 371 531 38725	+49 371 531 838725	stefan.merkel-krell@et.it.tu-chemnitz.de
M. Paulitschke	+49 371 531 39395	+49 371 531 839395	martin.paulitschke@et.it.tu-chemnitz.de
A. Shirvani-Boroujeni	+49 371 531 37186	+49 371 531 837186	ali.shirvani-boroujeni@etit.tu-chemnitz.de
M. Stark	+49 371 531 33364	+49 371 531 833364	michael.stark@etit.tu-chemnitz.de
J. Teuscher	+49 371 531 37752	+49 371 531 837752	jens.teuscher@et.it.tu-chemnitz.de

Redaktion:

Andreas Götz

1 Vorwort

Sehr geehrte Freunde und Partner,

wieder neigt sich ein Jahr dem Ende entgegen und wir wollen mit unserem Jahresbericht in bewährter Weise Tagebuch führen über das, was wir geleistet haben und was uns bewegt hat.

Der Personalbestand der Professur liegt, gemessen an den hiesigen Rahmenbedingungen und unserer Ausstattung, weiter auf einem hohen Niveau. Zudem wird das Drittmiteileinkommen des Jahres 2012 wieder über 500.000,- € liegen, was uns mit Freude erfüllt, aber auch eine große Kraftanstrengung erfordert hat.



Im Januar hat die ESF-Nachwuchsforschergruppe "fahrE - Konzepte für multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien" ihre Arbeit aufgenommen, in der wir mit Herrn David Kühnert vertreten sind. Das Ziel ist, die vier Universitätsstandorte elektromobil zu vernetzen. Dazu wurden vier Elektrotankstellen geplant und errichtet. Die Ladeenergie soll dabei größtenteils aus regenerativen Energiequellen bereitgestellt werden. Im nächsten Jahr ist die Anschaffung von acht E-bikes und vier E-Smarts geplant.

Unsere Forschungsaktivitäten konzentrieren sich zunehmend auf die Netzintegration von Energiespeichern. So konnten wir einen Demonstrator realisieren der die saisonale Zwischenspeicherung von Energie in Form von Wasserstoff (Power-to-Gas - P2G) ermöglicht. Zum Ende des Jahres haben wir begonnen, einen Energiespeicher auf der Basis von Lithium-Technologie (55 kW, 128 kWh) zu errichten, der mit einer existierenden PV-Anlage (10 kW) gekoppelt, Systemdienstleistungen bereitstellen soll.

Seit dem Frühjahr steht nun endlich ein neues Rektorat unter der Leitung von Prof. Arnold van Zyl in der Verantwortung und realisiert Kontinuität in der Leitung unserer Universität. Wir wünschen dem Rektor und seinen Prorektoren Fortune und viel Erfolg.

Nach nur vier Jahren hat Sachsen schon wieder ein neues Hochschulgesetz - nun Sächsisches Hochschulfreiheitsgesetz - SächsHSFG (Gesetz über die Freiheit der Hochschulen im Freistaat Sachsen) - genannt. „Damit soll den sächsischen Hochschulen mehr Verantwortung und Freiheit in Forschung und Lehre gegeben werden.“ Im Gesetzestext ist nicht klar ersichtlich was das heißen soll - Freiheit für wen, Befreiung wovon? Es ist wohl zu befürchten, dass damit wohl nicht die Vergrößerung der Handlungsspielräume der in Lehre und Forschung engagierten Professoren gemeint ist. Vielmehr hat uns doch die Verwaltungsbürokratie in den letzten Jahren durch unverständliche Regularien die Lust an unserer Arbeit zu mindern versucht. Mögen sich meine Befürchtungen als unbegründet herausstellen.

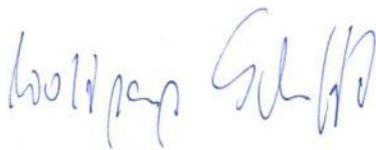
Im Verlaufe des Jahres haben gleich drei unserer Mitarbeiter den Bund der Ehe geschlossen, nämlich Frau Antje Voit (geb. Claussner), Herr Stefan Merkel-Krell (geb. Krell) und Herr Martin Paulitschke. Frau Anne Göhlich wurde im September Mutter und wird ab März weiter an ihrer Promotion arbeiten. Es gibt bei uns also auch ein Leben neben dem Universitätsalltag. Wir wünschen allen persönlich viel Glück und alles Gute in ihrem privaten Leben.

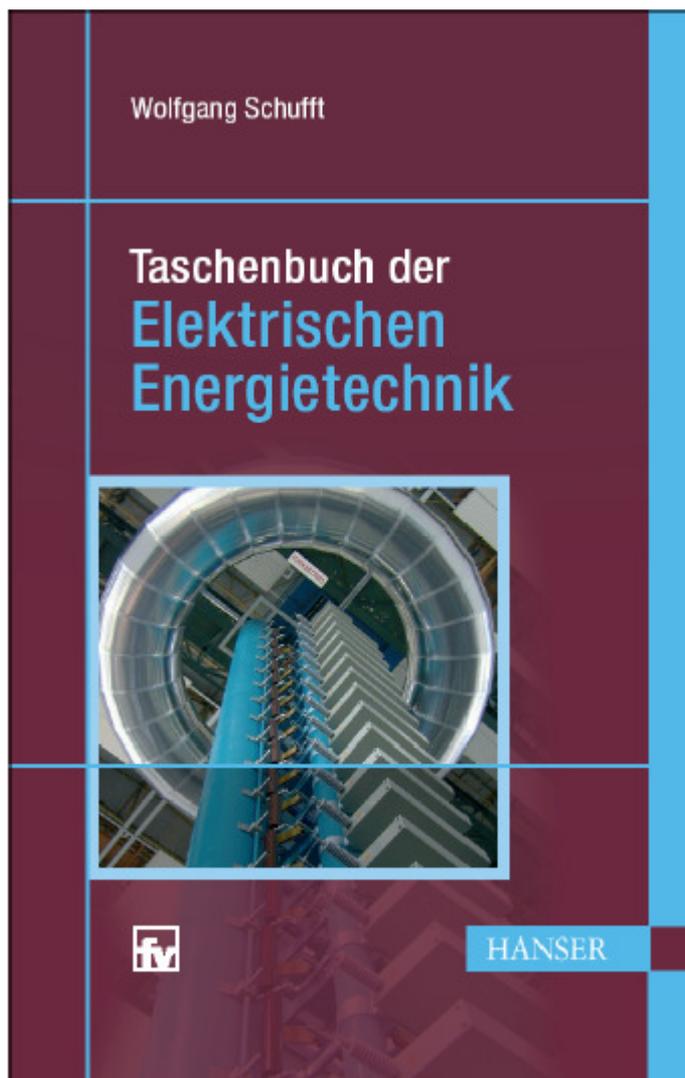
Zur Mitte des kommenden Jahres wird die Rekonstruktion der vorderen Hälfte der Weinholdbaus abgeschlossen werden. Damit wird sich unsere Raumnot mildern und die Baustellensituation enden. Wir freuen uns damit auf eine weitere deutliche Verbesserung unserer Arbeitsbedingungen.

Wir sehen optimistisch in das kommende Jahr 2013, wünschen auch Ihnen viel Glück, Erfolg und persönliches Wohlergehen und freuen uns auf eine weitere, gute Zusammenarbeit.

Chemnitz, Dezember 2012

Ihr

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wolfgang Schulz'.



Inhalt:

1. Energiebegriff, allgemeine Grundlagen (W. Schufft)
2. Elektroenergiebereitstellung (U. Rindelhardt, T. Sander, J. Zschernig)
3. Betriebsmittel in Elektroenergienetzen (T. Hiller)
4. Planungsaspekte für elektrische Netze und Anlagen (J. Backes, H. Bauer, P. Schegner)
5. Beanspruchungen von Betriebsmitteln (W. Schufft, S. Großmann, H. Löbl)
6. Hochspannungstechnik (W. Schufft)
7. Schaltgerätetechnik (F. Berger)
8. Elektrische Maschinen und Antriebe (W. Hofmann)
9. Leistungselektronik (W. Hofmann)
10. Elektroenergieanlagensicherheit (K.-H. Freytag, P. Schegner)
11. Elektroenergiewirtschaft (N. Menke)

Inhalt

1	Vorwort	2
2	Personelle Besetzung	6
3	Lehre	8
3.1	Studienablaufplan im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik und im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme	8
3.2	Beschreibung der Lehrfächer	9
4	Forschung	12
4.1	Schwerpunkte	12
4.2	Aktuelle Promotionsvorhaben	14
5	Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten	41
5.1	Bachelorarbeiten.....	41
5.2	Masterarbeiten	42
5.3	Diplomarbeiten	42
5.4	Dissertationen	42
6	Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge.....	43
7	Externe Aktivitäten und Kontakte	44
7.1	Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien	44
7.2	Gäste an der Professur	45
7.3	Höhepunkte	46
8	Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik.....	51
9	Laboraüstattung	54
10	Dienstleistungen	57
10.1	Dielektrische Prüfungen.....	57
10.2	Diagnosemöglichkeiten.....	57
10.3	Prüfung der Stromtragfähigkeit	57
10.4	Spezielle Messaufgaben	57
10.5	Virtueller Stoßspannungsgenerator.....	58
10.6	Netzanalysen.....	58
11	Referenzen.....	59

2 Personelle Besetzung



M.Sc. Samer Samir
Mahmood Al-Maamoory
DAAD-Stipendiat bis 09/12



Prof. em. Dr.-Ing. habil.
Dietrich Amft
Emeritus



Dipl.-Ing. (FH) Dietrich Barsch
bis 10/12



Dr.-Ing. Thilo Bocklisch
Nachwuchsforschergruppe IDE



B.A. Antje Voit
Sekretariat Professur



Dr.-Ing. Reinhardt Fuchs
KEMA-IEV Dresden
Lehrbeauftragter



M. Sc. Anne Göhlich
Industriepromovend



Dipl.-Ing. Andreas Götz



Dipl.-Ing. Akif Gürlek
Industriepromovend



B.A. Kerstin Grünert
Projektverwaltung
Nachwuchsforschergruppe IDE



M.Sc. Suleiman Hadid



B.Sc. Abdullah Hoshmeh
Stipendiat



Dipl.-Ing. David Kühnert
Nachwuchsforschergruppe fahrE



Jürgen Lippold
Technischer Angestellter



M .Sc. Kaveh Malekian-
Boroujeni



Ing. Viktor Majer
Erasmus-Stipendiat



Prof. Dr.-Ing. Norbert Menke
Durion GmbH
Lehrbeauftragter



Dipl.-Ing. Stefan Merkel-Krell



Dipl.-Ing. Martin Paulitschke
Nachwuchsforschergruppe IDE



Dr. rer. nat. Ralf Pietsch
HIGHVOLT Prüftechnik
Dresden GmbH
Lehrbeauftragter



Prof. Dr. rer. nat. habil.
Udo Rindelhardt
Forschungszentrum Rossendorf
Lehrbeauftragter



Dipl.-Ing. Uwe Schmidt
bis 10/12



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schufft
Leiter der Professur



M.Sc. Ali Shirvani-Boroujeni



Michael Stark
Technischer Angestellter



Julia Süptitz
RWE Stipendiatin 2010



Dipl.-Ing. Jens Teuscher
Nachwuchsforschergruppe IDE

3 Lehre

3.1 Studienablaufplan im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik und im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme

Lehrfach	Verantwortlicher	Bachelor Elektrotechnik			Master Energie- u. Automatisierungssysteme		
		3. Sem.	4. Sem.	5. Sem.	6. Sem.	7. Sem.	8. Sem.
Basismodule:							
Elektrische Energietechnik	Schufft, Werner, Lutz	2 1 0*					
Hochspannungstechnik	Schufft			3 1 2			
Elektroenergieübertragung und -verteilung	Schufft				3 1 2		
Vertiefungsmodule:							
Netze und Betriebsmittel	Schufft				2 1 0		
Beanspruchung von Betriebsmitteln	Schufft					3 1 1	
Regenerative Energietechnik I	Rindelhardt					2 1 0	
Regenerative Energietechnik II	Rindelhardt						1 0 1
Statistik und Isolationskoordination	Schufft						2 1 0
Ergänzungsmodule:					2 0 0		
Umwelt- und Ressourcenökonomie	n.n.				2 0 0		
Elektroenergiewirtschaft	Menke					1 0 0	
Netzberechnung und Schutztechnik	Fuchs						2 0 0
Diagnose- und Messtechnik	Pietsch						2 0 0

* 2 1 0 bedeutet: 2 SWS (Semesterwochenstunden zu 45 min) Vorlesung, 1 SWS Übung, 0 SWS Praktikum. Wahlfächer werden für ein bestimmtes Semester empfohlen, z.B. im 8. Semester, auch eine frühere Belegung (in Klammern), z.B. im 6. Semester, ist möglich.

3.2 Beschreibung der Lehrfächer

Elektrische Energietechnik

Basismodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 3. Semester

Umfang: 5 Vorlesungen / 2 Übungen

Prof. Schufft, Prof. Werner, Prof. Lutz

Inhalt: Energiebegriff, Elektroenergieerzeugung in Wärmekraftwerken, Regenerative Elektroenergiequellen, Netze der Elektroenergieübertragung und -verteilung, Energieanpassung mit Transformatoren, Energieumwandlung mit rotierenden Maschinen, leistungselektronische Komponenten und Grundsaltungen

Hochspannungstechnik

Basismodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 5. Semester

Umfang: 23 Vorlesungen / 7 Übungen / 7 Praktikumsversuche

Prof. Schufft

Inhalt: Beanspruchungen von Isolierungen, Erzeugung hoher Spannungen, Klassifizierung und Berechnung des elektrischen Feldes, Entladungsphysik von Gasen, flüssigen und festen Isolierstoffen

Elektroenergieübertragung und -verteilung

Basismodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 6. Semester

Umfang: 23 Vorlesungen / 7 Übungen / 7 Praktikumsversuche

Prof. Schufft

Inhalt: Aufbau, Struktur und Komponenten des Elektroenergiesystems, wichtige Berechnungsgrundlagen (wie symmetrische Komponenten) und deren Anwendung auf ausgewählte Elemente des Elektroenergiesystems

Netze und Betriebsmittel

Vertiefungsmodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 6. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

Prof. Schufft

Inhalt: Aufbau des Elektroenergienetzes, Spannungsebenen und Netzformen, Netztopologie, Methoden zur Kurzschlussberechnung im Mittelspannungsnetz (symmetrisch und unsymmetrisch), Lastflussberechnungen, Berechnung von Stich- und Ringnetzen der Mittelspannung, Kurzschlussberechnung in Niederspannungsnetzen, Netzberechnung mit ELEKTRA und EMTP/ATP

Systematisierung der Betriebsmittel, Aufbau und stationäres Verhalten von Betriebsmitteln, wie Leitungen, Transformatoren, Wandler, Reaktoren, Schalter

Beanspruchung von Betriebsmitteln

Vertiefungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 1. Semester

Umfang: 23 Vorlesungen / 7 Übung / 3 Praktikumsversuche

Prof. Schufft

Inhalt: Klassifizierung und Beschreibung der Beanspruchungen von Betriebsmitteln durch innere und äußere Überspannungen, Wanderwellen, Lichtbögen und Kurzschlussströme, Wärmeberechnungen, Auslegungsprinzipien von Betriebsmitteln, insbesondere von Schaltern

Regenerative Energietechnik I

Vertiefungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 1. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

Prof. Rindelhardt

Inhalt: Regenerative Energiequellen, Grundlagen und Anwendungen der solaren Energietechnik, Theorie und Technologie von Solarzellen, Komponenten photovoltaischer Anlagen, Verbraucher in photovoltaischen Systemen, Anpassung photovoltaischer Energie, Projektierung und Betriebsführung photovoltaischer Systeme

Regenerative Energietechnik II

Vertiefungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 7 Vorlesungen / 3 Praktikumsversuche

Prof. Rindelhardt

Inhalt: Solare Energie, Vertiefung zur Theorie, Technologie und Technik solarer Energiesysteme, Biomasse-Kraftwerke, Wasserkraftanlagen, Windenergieanlagen, Praktikumsversuche

Statistik und Isolationskoordination

Vertiefungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

Prof. Schufft

Inhalt: Statistische Verteilungsfunktionen und deren Anwendung zur Beschreibung des Isoliervermögens und von elektrischen Beanspruchungen, Planung von Hochspannungsprüfungen und Testverfahren zum Nachweis der Unabhängigkeit von Messreihen, Grundzüge der Isolationskoordination, Grundbegriffe der Zuverlässigkeit einschließlich deren Berechnung

Umwelt- und Ressourcenökonomie

Ergänzungsmodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 6. Semester

Umfang: 7 Vorlesung

n.n. - Angeboten von der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Inhalt: Zusammenhänge zwischen der Energiebereitstellung und wirtschaftlichen Kennzahlen, gesetzliche Grundlagen der Energiewirtschaft, Umweltaspekte der Energiebereitstellung

Elektroenergiewirtschaft

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 1. Semester

Umfang: 7 Vorlesungen

Prof. Menke

Inhalt: Grundlagen der Energiewirtschaft, Kosten der Energieversorgung, Investitionsrechnung, Energiepreisbildung, Belastungskurven, Kraftwerkseinsatz und Lastverteilung, wirtschaftlicher Verbundbetrieb, Betriebsmittelauslastung, Least-Cost-Planning, Durchleitung, Marketing und neue wirtschaftliche Aspekte

Netzberechnung und Schutztechnik

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen

Dr. Fuchs

Inhalt: Auswirkungen des elektrischen Stromes auf den Menschen, Erdungen, Schutzmaßnahmen im Niederspannungsnetz, Schutz im Mittelspannungsnetz, Schutzkriterien und Sensoren, netzformabhängiger Schutz von Kabeln und Freileitungen, Schutz von Transformatoren, Netzbetrieb im Mittelspannungsnetz, Leit- und Fernwirktechnik, Digitale Schutztechnik

Diagnose- und Messtechnik

Ergänzungsmodul im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme, 2. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen

Dr. Pietsch

Inhalt: Aspekte der Instandhaltung und Qualitätssicherung, Messung des Scheitelwertes der Spannung, Transienten-Messsysteme, nichtkonventionelle Messwandler, Teilentladungs- und Verlustfaktor-Messtechnik, Diagnose und Messtechnik für Kabel, gasisolierte Schaltanlagen (GIS) und Transformatoren

4 Forschung

4.1 Schwerpunkte

Die Schwerpunkte in der Forschung orientieren sich an den Anforderungen der Übertragungs- und Verteilnetz-Betreiber sowie der Industrie des deutschen und internationalen Marktes. Entwicklungen mit hohem wissenschaftlichem Potential sind dabei auf dem Gebiet der Einbindung leistungsstarker Off-Shore-Windparks und Integration dezentraler Einspeiser zu verzeichnen. Als Folge des zunehmenden Kostendrucks auf die Netzbetreiber, verursacht durch die Regulierung des Energiemarktes, werden verbesserte Verfahren zur Entwicklung effizienter Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien notwendig. Dazu müssen Kenntnisse vorliegen, die ein Abbild des momentanen Betriebszustandes und der Reduzierung des Isoliervermögens erlauben. Zukünftig gewinnen Speichersysteme für Elektroenergie zum Gelingen der Energiewende an hoher Bedeutung. In der folgenden Graphik sind die Forschungsschwerpunkte mit den entsprechenden Arbeitsgebieten der Professur aufgezeigt, welche ebenso die thematische Überschneidung von Forschungsinhalten wieder gibt. Nachfolgend werden die einzelnen Arbeitsgebiete näher beschrieben.



Abbildung: Forschungsschwerpunkte und Arbeitsgebiete der Professur

Netzintegration der Elektromobilität

- Auswirkungen der Elektromobilität auf das zukünftige Elektroenergiesystem
- Konzepte für multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien (Nachwuchsforschergruppe fahrE)

Modellierung zukünftiger Niederspannungsnetze:

- Simulation und Optimierung von Leistungsflüssen
- Belastung zukünftiger Niederspannungsnetze unter Beachtung von Verbraucher- und Einspeiserstrukturen

Speichersysteme für eine nachhaltige Energieversorgung

- Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme (Nachwuchsforschergruppe IDE)
- Konzepte zur Speicherung von Elektroenergie im Megawatt-Bereich
- Experimentelle Untersuchung, Modellierung und Simulation von Brennstoffzellen, Wasserstoffspeichern und Elektrolyseanlagen
- Konzepte und Verfahren für Hybridsysteme mit Batterie- und Wasserstoff-Speicherpfad zum Ausgleich dynamischer Erzeuger- und Verbraucherschwankungen im Kurz- und Langzeitbereich

Probabilistische Netzplanung:

- Probabilistische Untersuchung zur Bewertung der Lastsituation unter Einbeziehung dezentraler Erzeugungseinheiten
- Untersuchung der Einspeisecharakteristiken von Photovoltaik- und Windenergie in der Mittelspannungsebene

Netzanbindung leistungsstarker Windparks

- Einfluss der Windparknetze auf die Übertragungs- und Verteilungsnetze
- Implementierung leistungsstarker HVDC-Systeme
- Entwicklung geeigneter Modelle von Windenergieanlagen zur Beschreibung des Systemverhaltens

Zustandsbewertung und Asset-Management

- Lebensdaueranalysen von Anlagengütern in Bezug auf den Gesamtanlagenbestand
- Optimierung von Instandhaltungsstrategien
- Labor-Untersuchungen an Mittelspannungskabeln und –garnituren und Isoliersystemen
- Mess-, Diagnose- und Prüfverfahren (Teilentladung, Verlustfaktor, Stufentests, Dauerversuch, ...)
- Modellierung von Betriebsmitteln
- Vor-Ort-Untersuchungen mit einem mobilen Diagnose- und Messsystem

Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem

- Transiente Ausgleichsvorgänge auf langen Kabelstrecken in der Hoch- und Höchstspannungsebene
- Berechnung von Überspannungen bei Schalt- und Fehlervorgängen im Mittelspannungs- und Hochspannungsnetz

Isolationskoordination

- Isolationskoordination in ausgedehnten Industrieanlagen
- Untersuchungen zur Ausbreitung von Blitzströmen im Hoch- und Höchstspannungsnetz unter Berücksichtigung der frequenzabhängigen Parameter von Betriebsmitteln

Oberschwingungsverhalten regenerativer Erzeugungsanlagen

- Überlagerung verschiedener Erzeugungseinheiten
- Modellierung frequenzabhängiger Parameter der Netzkomponenten
- Optimierung der Umrichter-Modulationstechnik zur Verbesserung des Oberschwingungsverhaltens am Netz

4.2 Aktuelle Promotionsvorhaben

In der folgenden Übersicht sind die Arbeitsthemen der aktuellen Promotionsvorhaben genannt. Einen Eindruck über diese Themen und deren Bearbeitungsfortschritt sollen die darauffolgenden Beiträge vermitteln.

- Göhlich, A.:** Umfassende Analyse des Einspeiseverhaltens von Photovoltaik und Windenergie auf Mittelspannungsebene
- Götz, A:** Zukünftige Belastung von Niederspannungsnetzen unter Beachtung von Ladeszenarien für Elektrofahrzeuge
- Gürlek, A.:** Analyse der Auswirkungen von Lastflussveränderungen in Verteilnetzen aufgrund der Energiewende
- Hadid, S.:** Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors an VPE-isolierten Mittelspannungskabel
- Hoshmeh, A.:** Frequenzabhängige Modellierung von Kabel für die Simulation transienter elektromagnetischer Vorgänge
- Hunold, S.:** Algorithmische Bestimmung der Ausfallcharakteristik von Mittelspannungskabelmuffen auf der Basis von diagnostischen Messwerten und Betriebsmiteldaten
- Kühnert, D.:** Entwicklung einer intelligenten Ladesteuerung für Elektrofahrzeuge in einem Mobility-On-Demand-Konzept unter der Nutzung lokaler regenerativer Energien
- Malekian-**
- Boroujeni, K.:** Oberschwingungsverhalten und Netzanbindung von Windparks
- Merkel-Krell, S.:** Fehleridentifikation von Mittelspannungs-Kabelgarnituren mittels TE-Messungen
- Paulitschke, M.:** Optimale Auslegung und Betriebsführung intelligenter dezentraler Energieversorgungseinheiten
- Schmidt, U.:** Frequenzabhängige Parameter von Kabeln zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen im Zeitbereich
- Shirvani-**
- Boroujeni, A.:** Entladungsverhalten langer Luftfunkenstrecken bei Blitz-Stoßspannungen
- Teuscher, J.:** Leistungsflussoptimiertes Management mehrerer dezentraler Energieversorgungseinheiten



Umfassende Analyse der Einspeisecharakteristik von Photovoltaik und Windenergie in der Mittelspannungsebene

Anne Göhlich

Diese Aufgabenstellung wird seit Ende 2011 im Rahmen einer Industriepromotion, gefördert durch den Europäischen Sozialfonds (ESF) sowie ein regionales Energieversorgungsunternehmen, bearbeitet. Die Arbeit wurde nur in der ersten Jahreshälfte durchgeführt, ihre Fortsetzung erfolgt Anfang des Jahres 2013.

Das Promotionsvorhaben hat zum Ziel, ein Modell zu entwickeln, das die Einspeisung durch Photovoltaik und Windenergie in das Mittelspannungsnetz abbildet. Dieses Modell soll unter anderem die Eigenschaften der beiden Einspeisearten wie statistische Kennzahlen, zeitliche Abhängigkeiten oder auch Abhängigkeiten der beiden Einspeisearten untereinander untersuchen und berücksichtigen. Ein Großteil der Arbeit bestand in der Datenaufnahme und –bearbeitung. Es stehen die viertelstündlichen Einspeisewerte gemessen an verschiedenen Umspannwerken innerhalb des Netzgebietes eines sächsischen Energieversorgungsunternehmens zur Verfügung.

Angeregt durch das Kooperationsunternehmen war eine erste Teilaufgabe die Untersuchung der Ortsabhängigkeit der Windenergieeinspeisungen im betrachteten Versorgungsgebiet. Es stellte sich die Frage, ob das Einspeiseverhalten für jedes Umspannwerk separat betrachtet werden sollte oder ob sich das Windangebot mit seinen typischen Schwankungen aufgrund der räumlichen Nähe an verschiedenen Orten ähnelt. Stellte sich heraus, dass sich die Einspeisungen durch Windenergie in dem Gebiet ausreichend ähneln, brauchten nur die Eigenschaften weniger für das Netzgebiet repräsentativen Zeitreihen als Eingangsgrößen für weiterführende Berechnungen genutzt werden, anstelle von vielen für jedes einzelne Umspannwerk. Dies hätte den Aufwand des Datendownloads verringern können.

Es wurden entsprechende Daten in Form von Zeitreihen, die an den Abgängen der Umspannwerke gemessen wurden, bei dem Kooperationsunternehmen vor Ort heruntergeladen und analysiert. Es ergab sich, dass bei der Windenergieeinspeisung an den untersuchten Umspannwerken keine Ortsabhängigkeit erkennbar ist, da doch erhebliche Unterschiede der einzelnen Zeitreihen bestehen. Somit wird im weiteren Verlauf jeder Umspannwerksbereich getrennt betrachtet werden müssen. Hierfür war die Aufnahme der Daten in eine Datenbank ein wesentlicher Schritt, um späteren Programmieraufwand möglichst gering zu halten.

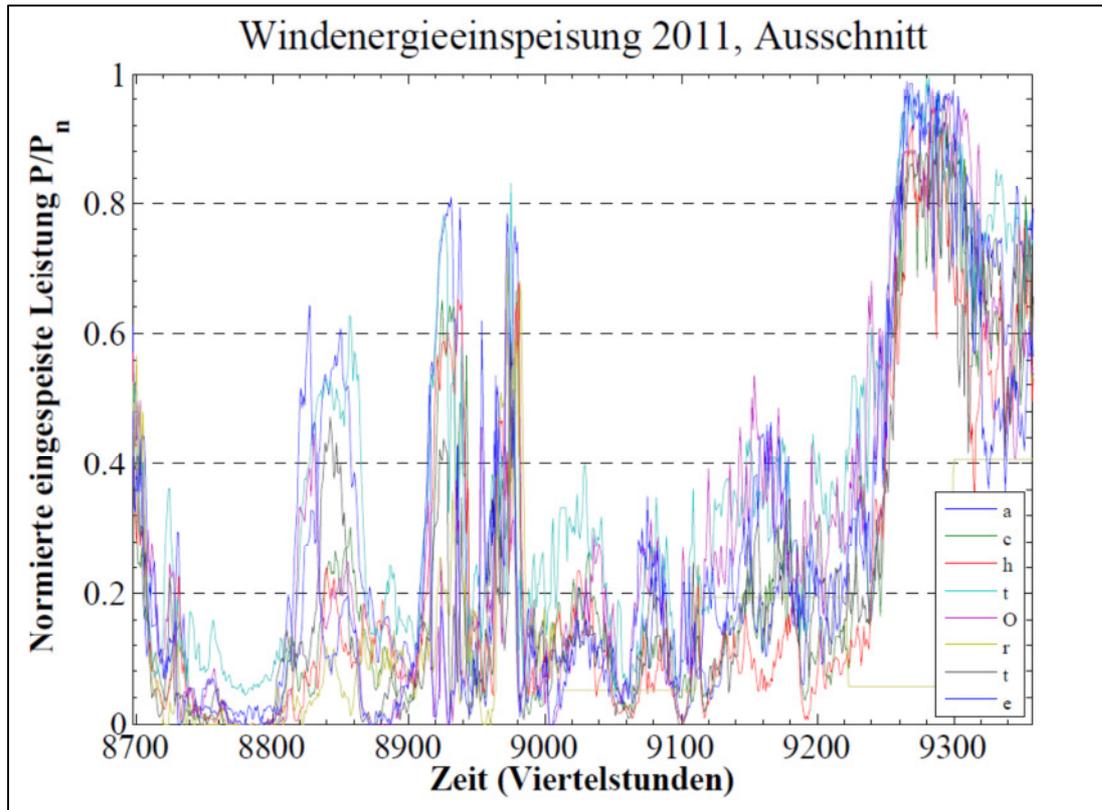


Abbildung 1: Einspeisung durch Windenergie von einer Woche im Jahr 2011 an acht verschiedenen Umspannwerken

Für die Monate nach der Wiederaufnahme der Arbeit im März 2013 steht dabei insbesondere die Untersuchung möglicher Korrelationen zwischen der Einspeisung durch Windenergie und Photovoltaik im Vordergrund. Dafür werden die Zeitreihen zunächst in Zeitabschnitte von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang unterteilt, da aufgrund der auf die Tagstunden beschränkten Photovoltaik-Einspeisung nur innerhalb dieser Zeiten eine Korrelation beobachtet werden kann. Für jeden dieser Zeitabschnitte wird anschließend der Trend entfernt und mit den nun stationären Zeitreihen im nächsten Schritt eine Korrelationsanalyse durchgeführt. In einer ersten Betrachtung wurden bereits für einige wenige Zeitpunkte relativ hohe Korrelationen ($>0,5$) ermittelt.

Mit dem endgültigen Modell lassen sich verschiedenste Berechnungen und Simulationen durchführen, z.B. als Eingangsgrößen für probabilistische Lastflussberechnungen oder Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Zusammenhang mit einem möglicherweise notwendigen Netzausbau.



Zukünftige Belastung von Niederspannungsnetzen unter Beachtung von Ladeeszenarien für Elektrofahrzeuge

Andreas Götz

Die Planung von Netzen zur Versorgung mit Elektroenergie ist von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. Prinzipiell lassen sich diese in zwei Bereiche gliedern. So beinhaltet der erste Bereich die demographischen Aspekte zur Ermittlung der zukünftigen Verbraucherstrukturen und die Prognose des Elektroenergiebedarfs. Im zweiten, dem technischen Bereich, sind dezentrale Einspeiser, Neuerungen im Verbrauchersektor (Smart Home incl. Smart Meter) sowie Einflüsse durch zukünftige Elektrofahrzeuge als Verbraucher und Einspeiser zu betrachten. Dabei wurden die Entwicklungen des Elektrifizierungsgrades prognostiziert, Verbrauchergruppen bzgl. deren Verbrauchsverlagerungspotential klassifiziert und die entsprechenden Potentiale quantitativ ermittelt.

In Bezug auf die Netzintegration von Elektrofahrzeugen wurden anhand einer Ladeinfrastruktur für eine sächsische Großstadt verschiedene Kategorien für Ladestandorte erarbeitet und die Notwendigkeit einer zentralen Ladesteuerung hinterfragt, um evtl. einen überhöhten Bedarf an Kommunikationstechnik zu vermeiden.

Die genannten Untersuchungen zum Verbrauchsverlagerungspotential der gewählten Verbraucherklassen ließen ein sehr hohes Potential einer Verbrauchssteuerung für die elektrische Beheizung bzw. Kühlung erkennen. [1] Dabei ist zu beachten, dass sich dieses hohe Potential auf einen sehr eingegrenzten Nutzerkreis bezieht, was für eine hohe Wirtschaftlichkeit eines möglichen zentralen Lastmanagements spricht, da mit einer geringen Anzahl von gesteuerten Verbrauchern ein hohes Potential erschlossen werden kann.

Die ersten Untersuchungsergebnisse bzgl. einer zukünftig möglichen Elektromobilität sind in den folgenden Abschnitten erläutert. Im Vergleich zum bisherigen Tankverhalten von Nutzern herkömmlicher Fahrzeuge ist zu erkennen, dass dieses einem Primärnutzen entspricht. Demnach wird mit dem Hauptziel des Tankens eine Tankstelle angefahren. Zusätzlich können verschiedene Dinge erworben bzw. weitere Dienstleistungen in Anspruch genommen werden. Dies entspricht einem Sekundärnutzen der Tankstelle. Dieses Verhalten unterscheidet sich regional (innerstädtisch) und überregional (längere Fahrten) kaum. Aufgrund der Reichweiten von Elektrofahrzeugen wird sich dieses Verhalten im regionalen Bereich umkehren. So sollte das Elektrofahrzeug möglichst bei einer hohen Anzahl der Parkvorgänge geladen werden [2]. Somit ist das „Tanken“ von Elektroenergie als Sekundärnutzen anzusehen. Dies lässt sich auch mit den Ladezeiten begründen. Unter den Annahmen, dass ein Elektrofahrzeug durchschnittlich 5 bis 10 kWh am Tag benötigt und eine dreiphasige Ladung mit einer 16 A-Absicherung erfolgt (ca. 10 kW Ladeleistung) wären 30 bis 60 Minuten Ladezeit notwendig, um die Batterien mit der benötigten Tagesenergie aufzuladen.

Befinden sich die herkömmlichen Tankstellen derzeit auf halböffentlichen Flächen, so sind für die Elektromobilität ebenso öffentliche und private Ladestationen notwendig. Der Grundstücksbesitzer von öffentlichen Ladestationen ist die Gemeinde. Halböffentliche Ladestationen sind für jeden zugänglich, befinden sich aber auf einem privaten Grundstück (z.B. Discounter, Tankstellen). Diese Standorte von Ladestationen sollten größtenteils der untertägigen Aufla-

dung dienen, was anhand der notwendigen Ladezeiten und den alltäglichen Fahrzielen zu begründen ist. Demnach sollte die gesamte Parkdauer zur Aufladung genutzt werden. Dies steht im Widerspruch zu einer zentral gesteuerten Ladung von Elektrofahrzeugen und stellt deren Notwendigkeit stark in Frage. Als dritte Kategorie von Ladestandorten ist der private Stellplatz zu nennen. Hier steht das Elektrofahrzeug meist die ganze Nacht für eine Aufladung zur Verfügung. Dies hat u.a. dem Charme, dass die Niederspannungsnetze zur nächtlichen Schwachlastzeit besser ausgenutzt und mehr Elektrofahrzeuge gleichzeitig geladen werden können, als dies tagsüber der Fall ist (Abbildung 1-blau).

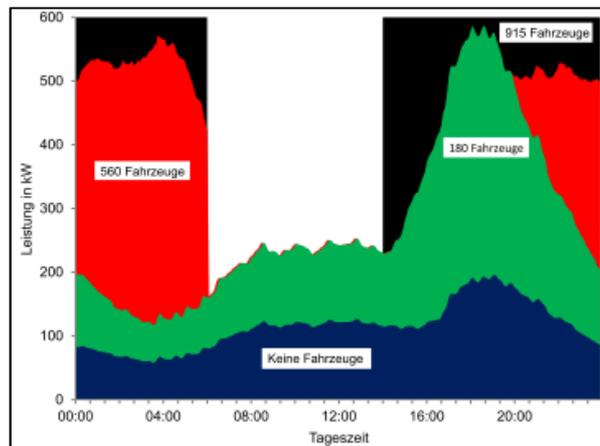


Abbildung 1: Lastprofil eines Niederspannungsstrangs mit und ohne Ladeenergie für Elektrofahrzeuge [3]

Diese Art der Nutzung bedingt allerdings eine gesteuerte Ladung, so dass einzelne Ladevorgänge automatisch gestartet werden können, da es sonst zu einem erhöhten Leistungsbedarf in den Abendstunden (Ankunft und „Anstecken“ des Elektrofahrzeugs) kommt (Abbildung 1-grün). Dies ließe sich mit einer zentralen Erfassung von zu ladenden Elektrofahrzeugen und deren zentral gesteuerten Ladebeginn realisieren; zentrales Lademanagement (Abbildung 1-schwarz). Hierfür wären entsprechende Kommunikationsgeräte, Übertragungswege, Informationsflüsse und eine zentrale Rechneinheit ähnlich einer Leitwarte notwendig. Da dies mit hohen Kosten für die entsprechenden Anlagenbetreiber und schließlich dem Endkunden verbunden ist, wurde eine Lösung gefunden, wie eine gesteuerte Ladung ohne zentrales Lademanagement umsetzbar ist (Abbildung 1-rot). So startet der Ladevorgang eines jeden Elektrofahrzeugs nach einem patentierten Prinzip. So kann auf eine ressourcen-, energieverbrauchende und kostenintensive Ladeinfrastruktur für private Ladestandorte verzichtet werden. Lediglich eine Meldepflicht für Elektrofahrzeuge beim zuständigen Netzbetreiber ist notwendig, damit dieser entsprechende Maßnahmen zur gesteuerten Ladung einleiten kann. Mit Hilfe einer Auswahlmatrix lassen sich beliebige Niederspannungsnetzabschnitte hinsichtlich des Nutzens dieser dezentralen Ladesteuerung bewerten. Die maximal in dem ausgewählten realen Niederspannungsstrang integrierbare Anzahl von Elektrofahrzeugen ist in Abbildung 1 zu erkennen [3].

Literatur

- [1] Weller, R.: „Smart Meter - Elektronische Haushaltszähler und deren Potentiale für Netzbetreiber und Privatkunden“, Diplomarbeit, TU Chemnitz, 08/2011
- [2] Dietz, E.: „Konzeptstudie zur Erarbeitung einer Zielfrastruktur der Elektromobilität für das Jahr 2030“, Masterarbeit, TU Chemnitz, 12/2011
- [3] Schmidt, Th.: „Analyse stochastischer Einflüsse des Ladevorganges von Elektrofahrzeugen und deren Auswirkungen auf das Netzmanagement“, Diplomarbeit, TU Chemnitz, 04/2012



Analyse der Auswirkungen von Lastflussveränderungen in Verteilnetzen aufgrund der Energiewende

Akif Gürlek

Im Rahmen einer Industriepromotion wird die oben genannte Aufgabenstellung durch den Europäischen Sozialfonds und einem überregionalem Energieversorgungsunternehmen gefördert.

Die Zukunft der elektrischen Energieversorgung ist geprägt vom Wachstum erneuerbarer Energien und dezentraler Energieversorgung. Mit der Integration regenerativer Energieerzeuger ändern sich die Belastungskriterien für die Verteilnetze. Schwankende Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie, schwer planbare Lastflussrichtungsänderungen mit einer höheren Netzauslastung gefährden die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit.

Das Anwenden des bisherigen Asset-Managements auf die maximalen Einspeisungen und Lasten, ist der Ausbau der Netze auf die maximalen Spitzenleistungen der Einspeiser, ökonomisch nicht vertretbar, da das Auftreten der Maximaleinspeisung in Summe sich auf wenige Tage im Jahr belaufen. In der Realität sind es zusammenhängend lediglich wenige Stunden im Jahr (siehe Abbildung 1).

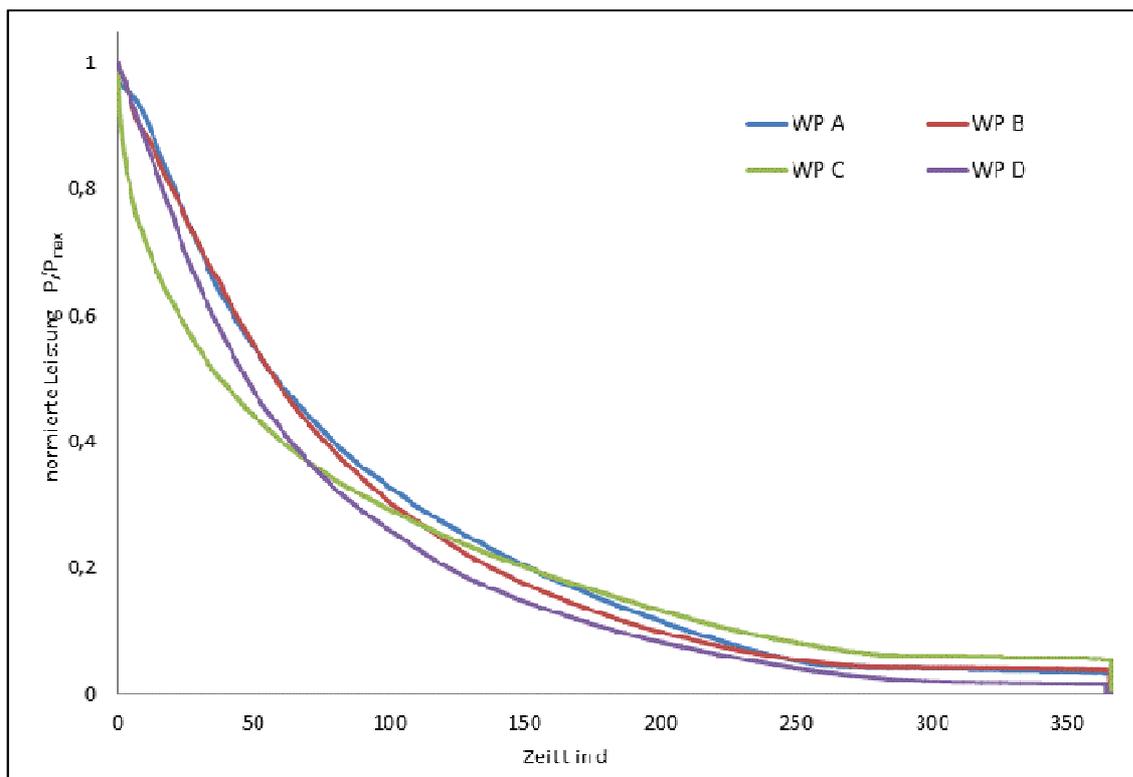


Abbildung 1: Summenverlauf Windeinspeisung mehrerer Windparks (WP)

Aus den oben genannten Gründen wird eine intelligente Lösung für den Netzausbau notwendig. Eines der Methodik kann über die probabilistische Netzplanung bewerkstelligt werden. Bei der Probabilistik geht es um die Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten be-

stimmter Ereignisse. In diesem Falle werden Zeitreihen von regenerativen Energieerzeugern auf ihre Auftretenswahrscheinlichkeit hin untersucht. Im Endeffekt gibt uns die Zeitreihenanalyse einen Faktor wieder, welcher in Lastflussberechnungsprogrammen wie z. B. ELEKTRA die nominelle Einspeiseleistung berechnen lassen.

Die maximale Übertragungsleistung einer Leitung wird durch ihre thermische Belastbarkeit definiert. In der Regel liegen die thermischen Grenztemperaturen bei Aldey-, und Aluminium - Freileitungs-leiteseilen bei 80 °C. Weil bei hoher Einspeiseleistung von Windenergieanlagen auch hohe Windgeschwindigkeiten festzustellen sind, hat dieser einen Kühlungseffekt auf die Freileitung. Demzufolge kann der Betrieb einer Freileitung auch mit einer höheren übertragbaren Leistung erfolgen, als die im Datenblatt angegebene Nennleistung. Diese äußert sich auch im witterungsabhängigen Freileitungsbetrieb, welcher in der Norm VDE-AR-N 4120-5 festgeschrieben ist.

Um die Steuerung (Drosselung, Abschaltung) der Windenergieanlagen bei erhöhter Einspeisung zu beeinflussen, wird das dynamische thermische Verhalten von der Freileitung notwendig. Hierzu gehören die Grenztemperaturen und die Zeitkonstanten des Temperaturverlaufs in Abhängigkeit der Ströme und der auftretenden Winde und Solarstrahlung. Um das erstellte Temperaturmodell zu verifizieren, wird eine Messung des Temperaturverlaufs bei unterschiedlichen Randbedingungen notwendig. Um das Messprinzip zu verdeutlichen, dient das Schema in der Abbildung 2.

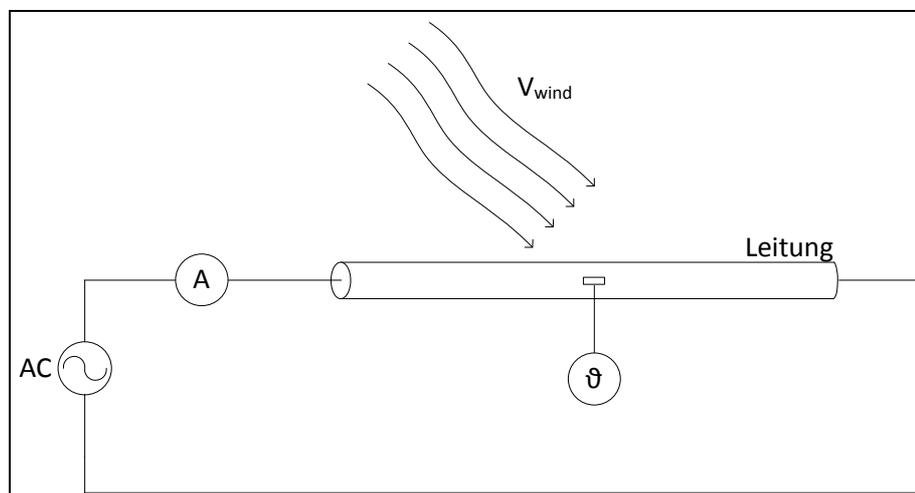


Abbildung 2: Schema zum Prinzip der Temperaturmessung

Hierin wird beispielsweise ein Al-St-Seil (150/25) mit einem Strom von 400 A belastet. Um Messfehler der Temperatur zu vermeiden, wird der Temperatursensor an der Mitte der Leitung angebracht. Mit einem Versuch werden zwei Verläufe aufgezeichnet – ein Erwärmungsverlauf und ein Abkühlungsverlauf. Weiterhin werden nach dem Erwärmungsvorgang die Stromanschlüsse entfernt, um die Wärmeleitung durch ein besseres Wärmeleitungsmedium (in diesem Fall: Kupfer) nicht zu verfälschen. In der Abbildung 3 sind mehrere Temperaturverläufe für die Erwärmung und Abkühlung ersichtlich.

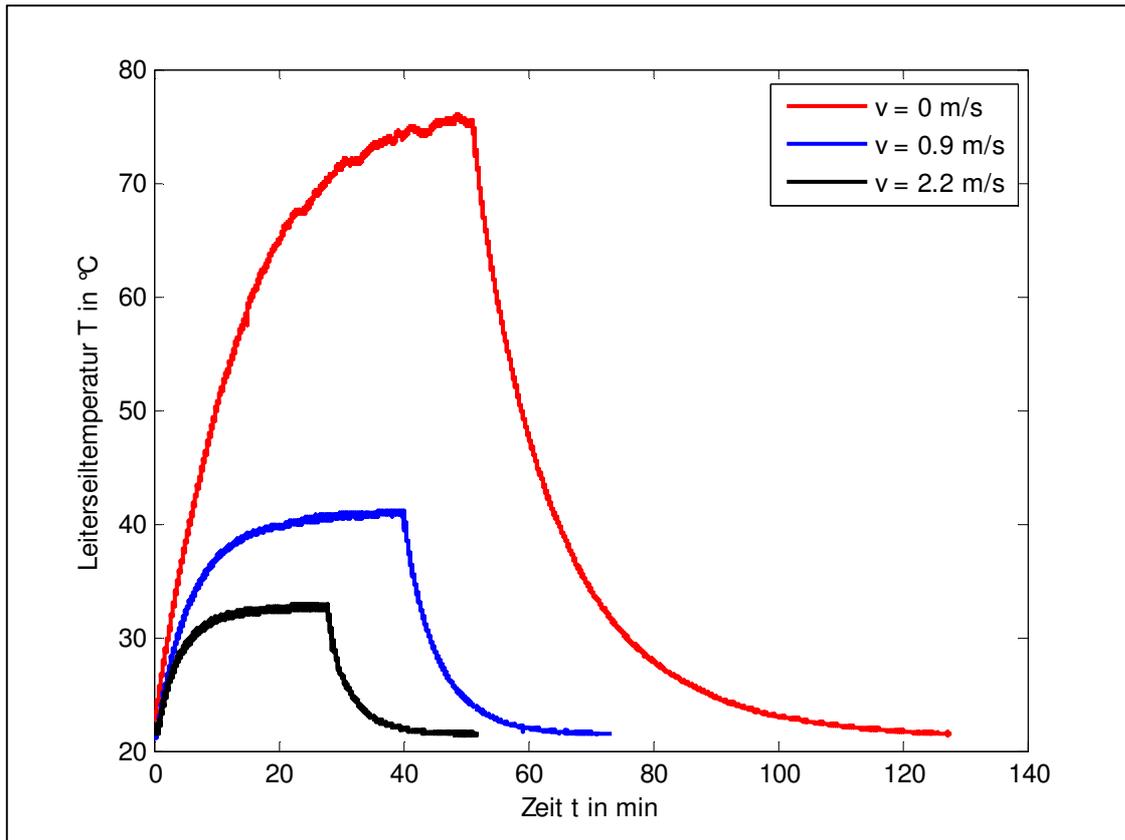


Abbildung 3: Temperaturverläufe vom Al-St 150/25-Leiteseil bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten (Umgebungstemperatur: 21,5 °C)

In der Abbildung 3 sind drei Temperaturverläufe für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten angegeben. Aus diesem Diagramm sind zwei wichtige Erkenntnisse zu ziehen: Erstens sind die Grenztemperatur mit zunehmender Windstärke kleiner und die aus dem Verlauf ermittelten Anstiegszeiten werden mit zunehmendem Wind kürzer. Konkrete Werte lassen sich aus der Tabelle 1 herausnehmen.

Tabelle 1: Grenztemperaturen und Zeitkonstanten bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten (Strömung des Windes: horizontal und senkrecht zum Leiteseil Al-St 150/25)

Windgeschwindigkeiten v	Grenztemperatur T	Zeitkonstante τ
0 m/s	75,6 °C	14,3 min
0,9 m/s	41,4 °C	5,7 min
2,2 m/s	32,4 °C	3,9 min

Mit der Erkenntnis in Bezug auf die Zeitkonstanten und der Grenztemperaturen können nun konkrete Leistungen ins Netz eingespeist werden, die über der Nennleistung der Freileitung hinausgeht. In der Norm wird lediglich ein Wert für die Überbelastung von 120 % (bei besonderen Randbedingungen) angegeben.

Aus dieser Feststellung lässt sich nun konkret ein zweiter Faktor bestimmen, bei dem Windenergieanlagen bestimmter Leistung in das Netz integriert werden können. Kommen beide Faktoren zum Tragen, dann kann die Spitzenleistung der Windparks am Netzanschlusspunkt höher sein, als die Nennleistung der Transportleitung.



Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors an VPE- isolierten Mittelspannungskabeln

Suleiman Hadid

Zur Einschätzung des Zustandes der Isolierungen von Betriebsmitteln wird unter Anderem der Verlustfaktor $\tan \delta$ verwendet. Mit Hilfe des Verlustfaktors $\tan \delta$ können verschiedene Polarisationsmechanismen erkannt werden, die bei zunehmender Alterung oder bei vorhandenem Wasser wirksam werden. Die Bestimmung des Verlustfaktors $\tan \delta$ bei einer diskreten Frequenz ist in der Regel jedoch nicht geeignet, um die komplexen Vorgänge bei Alterung des Isolierstoffes VPE abzubilden. Bei der Erfassung des Verlustfaktors $\tan \delta$ über einen großen Frequenzbereich können Vorgänge analysiert werden, die in unterschiedlichen Frequenzbereichen relevant werden. Dazu zählen beispielweise verschiedene Polarisationsarten, wie die Orientierungs- und die Grenzflächenpolarisation.

Um die Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors richtig abzubilden und somit alle Polarisationserscheinungen und Raumladungs- bzw. Grenzflächenladungsphänomene zu erfassen, ist ein erweitertes Ersatzschaltbild notwendig. In Abbildung 1 ist die erweiterte Ersatzanordnung für die wesentlichen Polarisationsarten und Richtwerte der Eigenfrequenzen f_e angegeben.

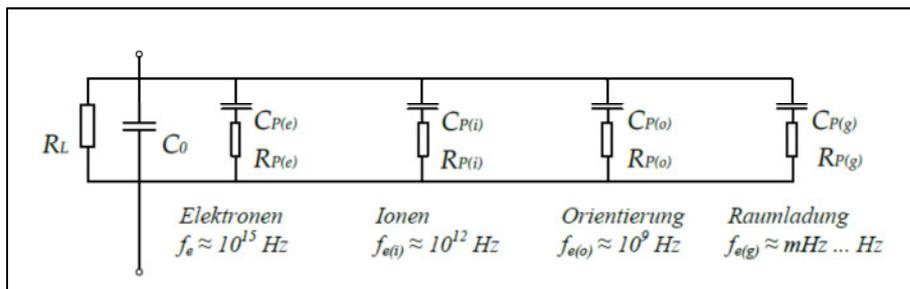


Abbildung 1: Erweitertes Ersatzschaltbild zur Beschreibung des Verlustfaktors $\tan \delta$

Anhand des erweiterten Ersatzschaltbildes kann der prinzipielle Verlauf des Verlustfaktors über der Frequenz modifiziert werden.

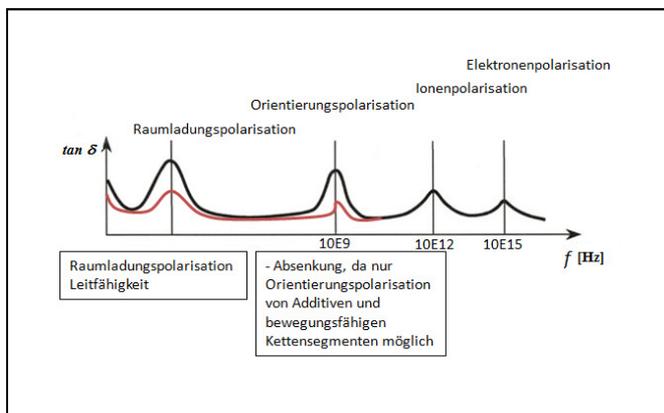


Abbildung 2: Modifizierter Verlauf des Verlustfaktors über der Frequenz an PE/VPE- isolierten Mittelspannungskabel

Der Einfluss der Leitschichten lässt sich qualitativ über ein Mehrschichtmodell nach Abbildung 3

beschreiben, wobei die Kapazitäten C_{is} und die Widerstände R_{is} den Leitschichten zugeordnet werden. Der in Klammern gesetzte Index (i) benennt dabei die innere, (a) die äußere Leitschicht. Der Index h charakterisiert die Hauptisolierung.

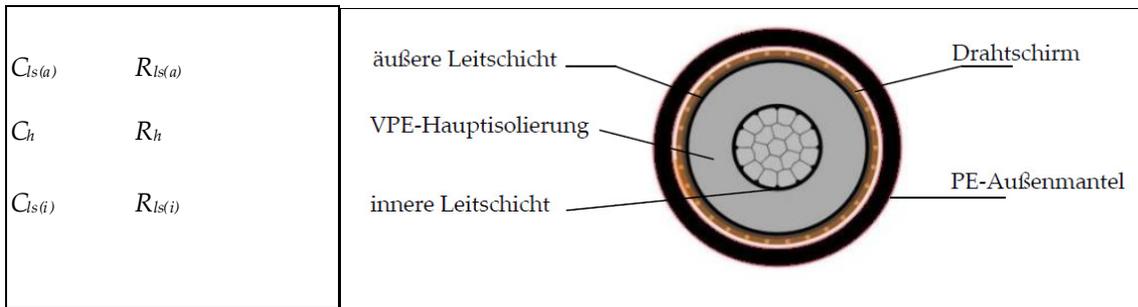


Abbildung 3: Dreischichtenmodell zur Beschreibung des Einflusses auf den Verlustfaktor $\tan \delta$ auf ein VPE-isoliertes Kabel

Der berechnete Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ eines Dreischichtenmodells ist in Abbildung 4 angegeben. Die Berechnung des Verlustfaktors basiert auf den geometrischen Abmessungen eines 20-kV-Kabels vom Typ NA2XS2Y.

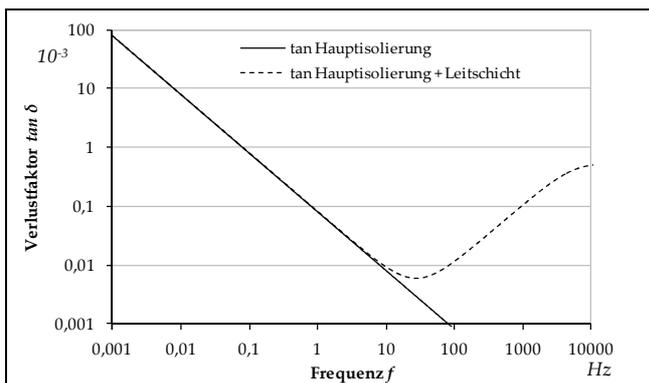


Abbildung 4: Berechneter Verlustfaktor $\tan \delta$

Der gemessene Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ über der Frequenz eines betriebsgealterten Kabels ist in Abbildung 5 angegeben.

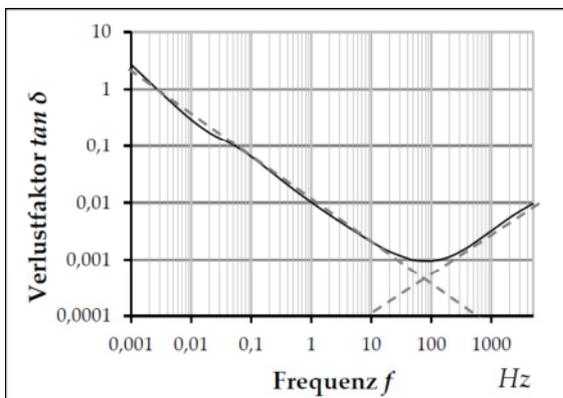


Abbildung 5: Gemessener Verlustfaktor $\tan \delta$ eines betriebsgealterten VPE-Kabels

Der Verlauf des Verlustfaktors $\tan \delta$ im betrachteten Frequenzbereich lässt sich demzufolge über zwei lineare Funktionen approximieren.

Die Gerade mit negativem (abfallend) Anstieg lässt sich der Leitfähigkeit der Hauptisolierung und damit dem Widerstand R_h des Dreischichtmodells nach Abbildung 3 zuordnen. Die Gerade mit positivem Anstieg ist dem Einfluss der Leitschichten zuzuordnen.

Die künstliche Alterung der VPE-Kabel erfolgte über einen festgelegten Erwärmungszyklus. Dabei wurden die Kabel zyklisch auf eine Temperatur von $\delta_e=90\text{ °C}$ über einen Zeitraum von jeweils

$t=10 \cdot 250\text{ h}$ aufgeheizt. Zwischen den Erwärmungszyklen erfolgten die Messungen der dielektrischen Parameter der Kabel. Die Messung des Verlustfaktors $\tan \delta$ wurde jeweils bei einer Raumtemperatur von $\delta_o \approx 23\text{ °C}$ durchgeführt.

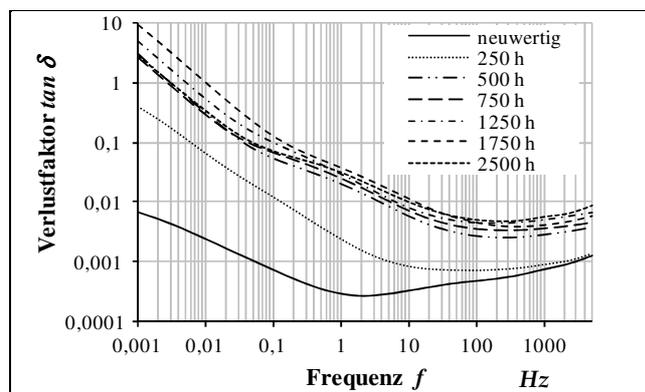


Abbildung 6: Gemessener Verlustfaktor $\tan \delta$ in Abhängigkeit der thermischen Alterung

Der Anstieg der Leitfähigkeit der VPE-Hauptisolierung, als Folge der thermischen Alterung führt zu einer Anhebung der gesamten Kurve, mit einer Verschiebung des Minimums zu einer höheren Frequenz. Exemplarisch ist dieser Sachverhalt für das Dreischichtmodell dargestellt. Dazu wurde die Leitfähigkeit der VPE-Hauptisolierung erhöht.

Aus der Abbildung 6 ist zu erkennen, dass die thermische Alterung sich offensichtlich stark auf den Verlustfaktor $\tan \delta$ auswirkt und zu einer Verschiebung der Kurve des Verlustfaktors $\tan \delta$ führt. Dabei bleibt der Anstieg der Geraden, der der Leitfähigkeit der Hauptisolierung zuzuordnen ist, nahezu konstant.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Die Alterung des Isolierstoffes VPE sich direkt im Verlustfaktor $\tan \delta$ abbildet. Grund ist die Änderung der amorphen molekularen Struktur, die bei thermischer Alterung zunehmend einen kristallinen Charakter annimmt. Dies führt zu einer Zunahme der Leitfähigkeit der Hauptisolierung.

Die Entwicklung einer möglichen Messtechnik zur Erfassung des momentanen Zustandes der VPE-Hauptisolierung braucht gegebenenfalls nur den Frequenzbereich $f \leq 100\text{ Hz}$ abzudecken. Dies hat positive Auswirkungen auf die Prüfleistung der zu entwickelnden Messtechnik.

Bei der thermischen Alterung hat die Polarisation der VPE-Hauptisolierung wenig Einfluss auf den Verlustfaktor $\tan \delta$. Es ist jedoch zwingend, zusätzliche Alterungsmechanismen zu untersuchen, die Einfluss auf dem Verlustfaktor $\tan \delta$ haben. Dazu zählen die elektrische Alterung und der Einfluss von Wasser. In zukünftigen Messungen werden diese Einflüsse einbezogen.

Konferenzbeitrag: Hadid, S; Schmidt, U; Schufft, W; Rätzke, S: Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors $\tan \delta$ an VPE-isolierten Kabeln. ETG 2012; Fulda



Frequenzabhängiges Kabelmodell auf Basis von Lamped-Parametern für Berechnungen im Zeitbereich

Abdullah Hoshmeh

Das Elektroenergiesystem ist stör anfällig. Die Ursachen von diesen Störungen sind unterschiedlich, wie z.B. Schaltheandlungen und Blitzeinschläge. Die dabei entstehenden elektromagnetischen transienten Vorgänge haben andere Verhältnisse als im stationären Zustand. Die Kabel, als Bestandteil des Elektroenergiesystems, sind von diesen Störungen betroffen. Deshalb ist eine genaue Modellierung von Kabeln für die Simulation von elektromagnetischen transienten Vorgängen wichtig.

Aufgrund der Einfachheit und der Stabilität, basierten die ersten Kabelmodelle auf Lamped-Parametern. In diesen Modellen wird ein Kabel in der Regel durch eine Kaskadierung mehrerer geschaltete π -Glieder modelliert (siehe Abbildung 1).

Die Paramatern von diesen π -Gliedern werden in der Regel für eine Frequenz von 50 Hz ausgewertet. Der Frequenzgang dieser Modelle ist lediglich nur bei 50 Hz gültig. Aber um eine notwendige Genauigkeit zu erreichen, ist eine gute Wiedergabe des Verhaltens von Kabelparametern über einen hohen Frequenzbereich erforderlich.

Im vorgeschlagenen Modell ist dieses Problem gelöst, indem das Verhalten der Längskabelimpedanz anhand von mehreren in Reihe geschalteten parallelen RL-Schaltungen berücksichtigt wird (siehe Abbildung 2). Die Querkapazität ist, bei Annahme einer konstanten relativen Primitivität für alle Isolationsschichten, konstant. Die Frequenzabhängigkeit vom Querleitwert wird vernachlässigt.

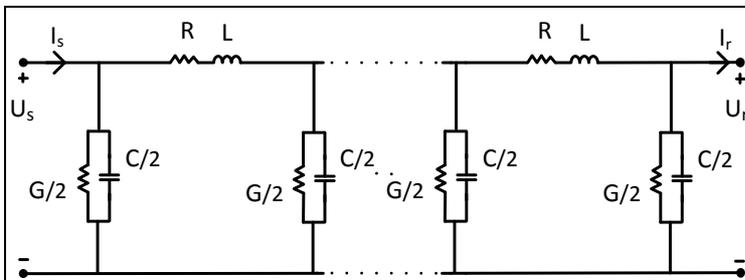


Abbildung 1: Einphasiges π -Kabelmodell ohne Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit

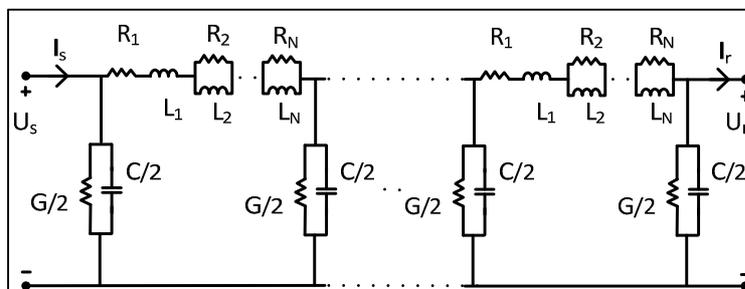


Abbildung 2: Einphasiges Kabelmodell mit Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit

Der Einfluss bei Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit wird anhand einer Zuschaltung eines 20-kV-Kabels gezeigt. Während der Zuschaltung wird die Eigenfrequenz des Kabels erregt. Es entsteht ein Ausgleichvorgang, der sich dem 50-Hz-Vorgang überlagert (siehe Abbildung 3).

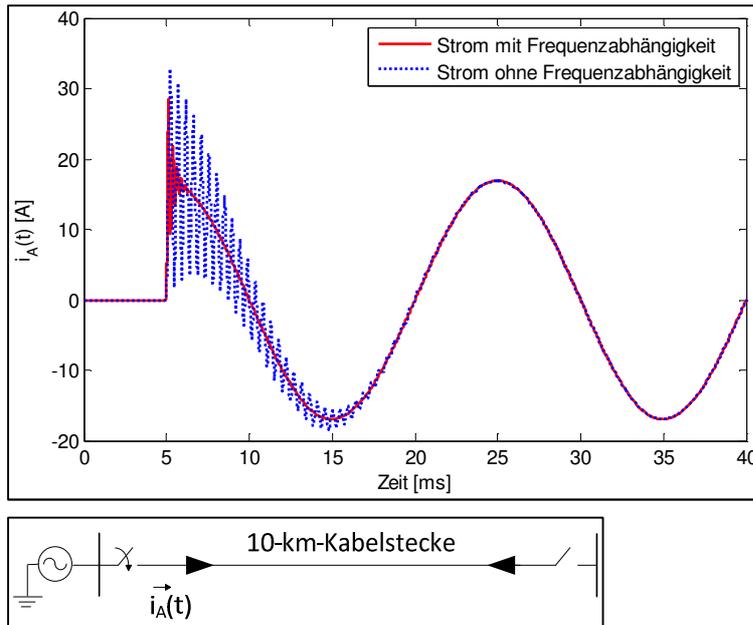


Abbildung 3: Ströme bei Zuschaltung eines 20-kV-Kabels, Schaltprinzip der Leitung

Die Frequenz bei diesem Ausgleichvorgang liegt oberhalb des stationären Zustandes (50 Hz). Mit der Frequenz erhöht sich der Längswiderstand infolge vom SKIN- und PROXIMITY-Effekt. Die Dämpfung ist mit Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit höher. Dieses Verhalten ist in der Abbildung 3 durch eine stärkere Dämpfung der Schwingungen zu erkennen.



Entwicklung einer intelligenten Ladesteuerung für Elektrofahrzeuge in einem Mobility-On-Demand-Konzept unter der Nutzung lokaler regenerativer Energien

David Kühnert

Im Rahmen der Nachwuchsforschergruppe „fahrE – Konzepte für Multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien“ wird das Thema durch den europäischen Sozialfond (ESF) gefördert.

Die Veränderungen in der Energieversorgungsstruktur bedingen auch ein Umdenken im Mobilitätssektor. Die Elektromobilität kann aufgrund ihrer deutlich höheren Antriebseffizienz einen wesentlichen Beitrag dazu leisten Energie einzusparen. Zusätzlich sind Elektrofahrzeuge geeignet überschüssige Energie aus fluktuierend einspeisenden Energieerzeugungsanlagen auf Basis Erneuerbarer Energien aufzunehmen. Im Gegenzug zeigen Untersuchungen [1], dass Elektrofahrzeuge nur dann ökologisch und nachhaltig nutzbar werden, wenn die Fahrenergie aus Erneuerbaren Energiequellen stammt. Um bereits heute einen möglichst nachhaltigen Betrieb zu gewährleisten, müssen Elektrofahrzeuge genau dann geladen werden, wenn ein besonders hoher Anteil an Erneuerbarer Energie zur Verfügung steht. Es wurde gezeigt, dass die Abregelung überschüssiger Windenergie im Norden Deutschlands nicht wesentlich durch Elektrofahrzeuge verringert werden kann [2]. Zurückzuführen ist dies auf die zu geringen Übertragungsnetzkapazitäten. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass es sinnvoll ist lokale und regionale Energieerzeugungsanlagen auf Basis Erneuerbarer Energien zu nutzen um Elektrofahrzeuge ökologisch und nachhaltig zu laden. Zusätzlich können durch den geringeren Übertragungsaufwand Verluste verringert werden. Die zu entwickelnde intelligente Steuerung der Ladevorgänge soll die Nutzung lokaler regenerativer Energie ermöglichen, ohne dabei Verteilnetze zu überlasten.

In einem Mobility-On-Demand-Konzept ist es von grundlegender Bedeutung, dass mögliche Nutzer des Systems jederzeit auf verfügbare Mobilität zurückgreifen können. Um dies zu gewährleisten, muss die intelligente Ladesteuerung erkennen, wann es notwendig ist ein Fahrzeug zu laden um das Mobilitätsbedürfnis zu decken.

Die Ladesteuerung basiert auf einer Gleichung mit drei veränderlichen Termen. Neben der Verfügbarkeit regenerativer Energie bilden die zwei weiteren Terme der Gleichung die Belastung des Netzes und den Ladezustand der Fahrzeugbatterie ab. Aus der Formel ergibt sich ein dreidimensionales Kennfeld des Ladesignals, dargestellt in Abbildung 1. In diesem ist erkennbar, dass unter einem Ladezustand von 30 % der Batteriekapazität das Signal auf „1“ springt. Im dargestellten Fall wurde dabei der kritische Ladezustand, zur Gewährleistung der Mobilitätsbedürfnisse, auf 30 % der Batteriekapazität festgelegt. Mit steigender Netzlast verschiebt sich die Ebene des Kennfeldes nach unten. Dargestellt wurden dabei keine Netzbelastung, 50 % der maximal erreichbaren Netzbelastung und die Maximalbelastung. Die höchste Kennfeldebene ist das Kennfeld bei keiner vorhandenen Netzlast. Ebenfalls erkennbar ist der Einfluss der Verfügbarkeit lokaler regenerativer Energie. Mit steigender eingespeister Leistung steigt das Ladesignal stark an. Auch bei sinkendem Ladezustand steigt das Signal an, jedoch wurde der Einfluss

verhältnismäßig gering gewählt, um die Nutzung lokaler regenerativer Energie stärker zu beachten.

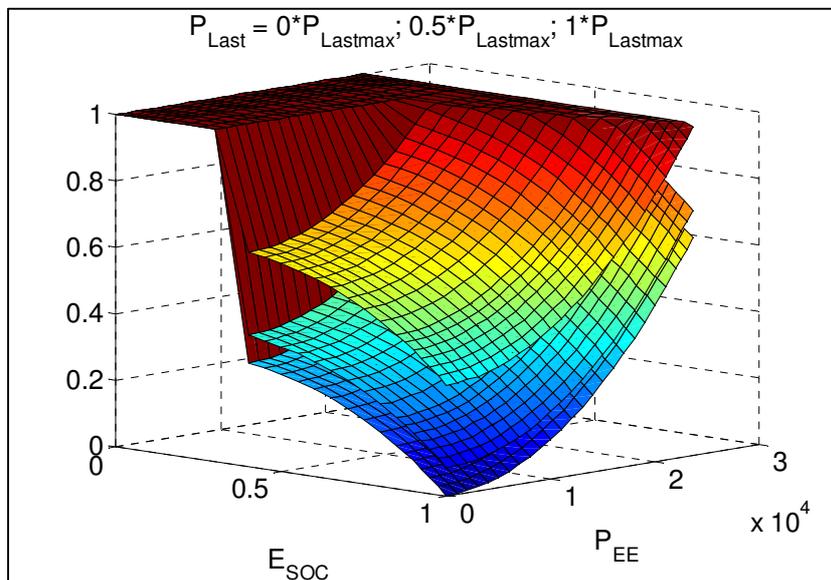


Abbildung 1: Ladesignalkennfeld

Grundlage der Untersuchungen ist das in der Nachwuchsforschergruppe „fahrE“ entstehende Mobilitätskonzept. Das Mobilitätskonzept umfasst die Verbindung der vier Universitätsstandorte mit Hilfe von vier Elektrofahrzeugen und acht Pedelecs. Aufgrund der Verbindung der Universitätsstandorte der TU Chemnitz umfasst der Begriff lokale regenerative Energie, sämtliche in Chemnitz erzeugte regenerative Energie.

Die zu erfassenden Energieerzeugungsanlagen auf Basis Erneuerbarer Energien können nicht per Echt-Zeit-Daten erfasst werden und müssen daher aus meteorologischen Daten simuliert werden. Eine genaue Simulation ist dabei die Grundvoraussetzung für eine ökologische und nachhaltige Ladung der Elektrofahrzeuge. Bei dieser Simulation wurden bereits erste Schritte getätigt, welche in den nächsten Schritten überarbeitet und verfeinert werden müssen.

Literatur:

- [1] Öko-Institut e.V., Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE): „OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotentiale von Elektrofahrzeugen - Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft“, Berlin, Oktober 2011
- [2] J. Linssen et. al.: „Netzintegration von Fahrzeugen mit elektrifizierten Antriebssystemen in bestehende und zukünftige Energieversorgungsstrukturen“, Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment, 2012



Oberschwingungsverhalten von Windparks – Messen und Analysieren

Kaveh Malekian-Boroujeni

Bis zum Jahr 2020 sollen ca. 40 % des gesamten Energieverbrauchs Deutschlands aus Erneuerbaren Energien und ein großer Teil davon aus der Windenergie stammen. Zur Netzanbindung von Windenergieanlagen größerer Leistung werden zur Einhaltung der Netzanschlussbedingungen leistungselektronische Komponenten eingesetzt, die die Kenntnis des Oberschwingungsverhaltens der einzelnen Windenergieanlage und des gesamten Windparks erfordern.

Das Oberschwingungsverhalten eines Windparks ist nicht nur vom Typ der Windenergieanlagen (WEA) abhängig, sondern auch vom Netzaufbau des Windparks, der Kurzschlussimpedanz am Netzanschlusspunkt und vom Oberschwingungspegel des vorgelagerten Hochspannungsnetzes. Die Stromüberschwingungen am Netzanschlusspunkt resultieren aus aktiven und passiven Komponenten:

- passiver Teil: Diese Oberschwingungsströme werden vor allem durch die Netzelemente des Windparknetzes und des Filters der Windenergieanlagen bestimmt und hängen direkt vom Pegel der Spannungsüberschwingung am vorgelagerten Netz (Netzvorbelastung) ab. Die Leistungsflussrichtung dieser Oberschwingungen (OS) ist nur von der Frequenz bzw. von der Ordnung der Oberschwingungen abhängig. Mit Annahme einer induktiven Netzimpedanz können diese Oberschwingungsströme die Pegel der Spannungsüberschwingung am Netzanschlusspunkt verstärken ($f < f_e$) bzw. vermindern ($f > f_e$).
- aktiver Teil: Dieser Teil der Oberschwingungen wird durch die leistungselektronischen Komponenten (Umrichter und andere aktive Elemente) emittiert. Sie hängen von der momentanen Scheinleistung und daher auch von der Windgeschwindigkeit ab. Sie können in Abhängigkeit der Leistung starke Unsymmetrien aufweisen. Die von den Umrichtern emittierten Oberschwingungen überlagern sich am Verknüpfungspunkt der Windenergieanlagen. In Abhängigkeit der momentanen Phasenlage ist eine teilweise Auslöschung der vom Umrichter emittierten Oberschwingungen möglich. Dieser Sachverhalt wird vor allem bei höherzahligen Ordnungen der Oberschwingung wirksam. Zur Bewertung des Oberschwingungsverhaltens ist die phasengenaue Überlagerung der Oberschwingungen unbedingt zu berücksichtigen, die zu einer teilweisen Auslöschung der Oberschwingungen am Verknüpfungspunkt führt.

In einem 20-MW-Windpark (10 × WEA jeweils 2 MW) wurden Oberschwingungsströme gleichzeitig am Netzanschluss (I_{EZA}) des Windparks und an den Windenergieanlagen (I_{EZE}) über zwei Wochen gemessen (Siehe Abb. 1). Das Verhältnis der beiden Ströme (I_{EZA}/I_{EZE}) in Abhängigkeit der Einspeiseleistung wurde für zwei Oberschwingungsordnungen (v_n und v_m) ermittelt und in Abb. 2 und 3 dargestellt. Wie zu erkennen ist, ist eine vereinfachte Skalierung oder eine quadratische Summation der Pegel von Oberschwingungsströmen aller WEA nicht zulässig. Der Zusammenhang zwischen I_{EZA} und I_{EZE} ist unter anderem von der Einspeiseleistung und von der Oberschwingungsordnung abhängig.

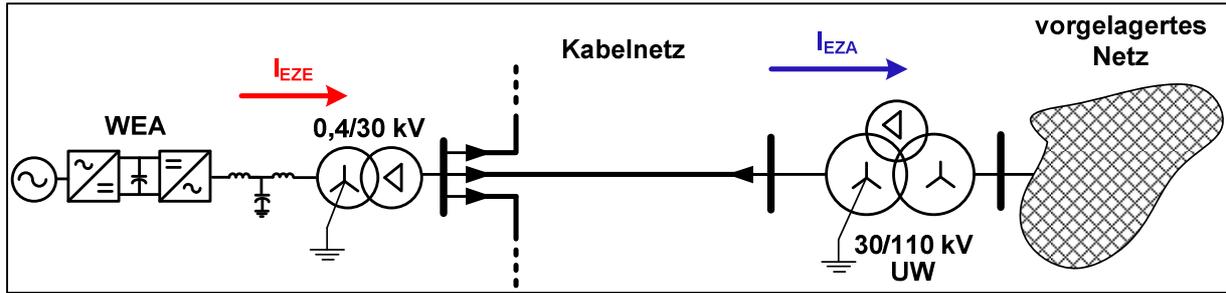


Abbildung 1: Definition der gemessenen Oberschwingungsströme.

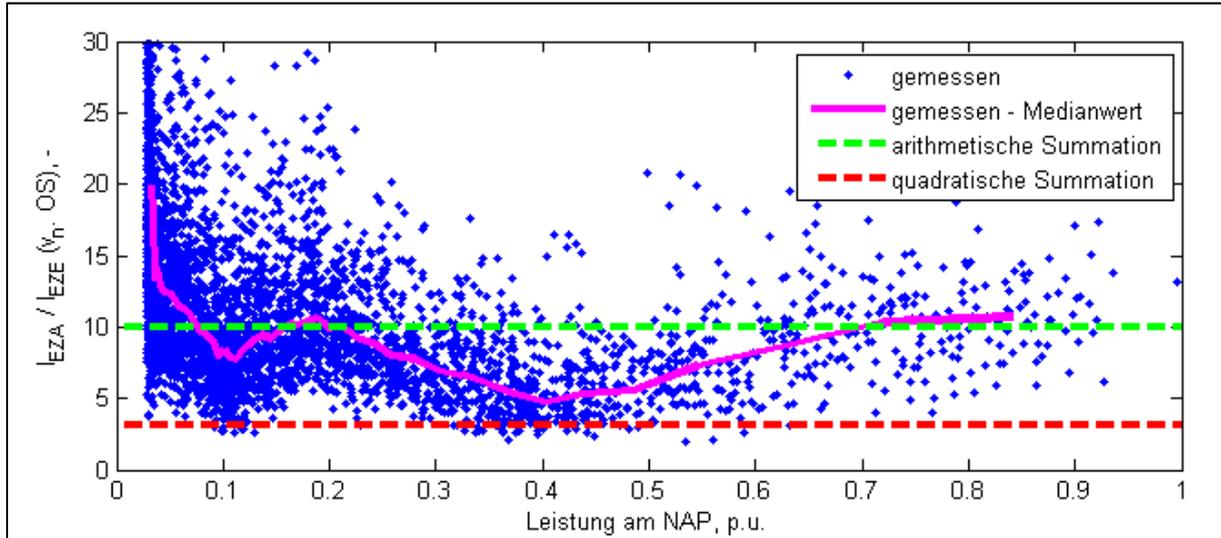


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen I_{EZA} und I_{EZE} in Abhängigkeit der Einspeiseleistung für die Oberschwingungsordnung v_n .

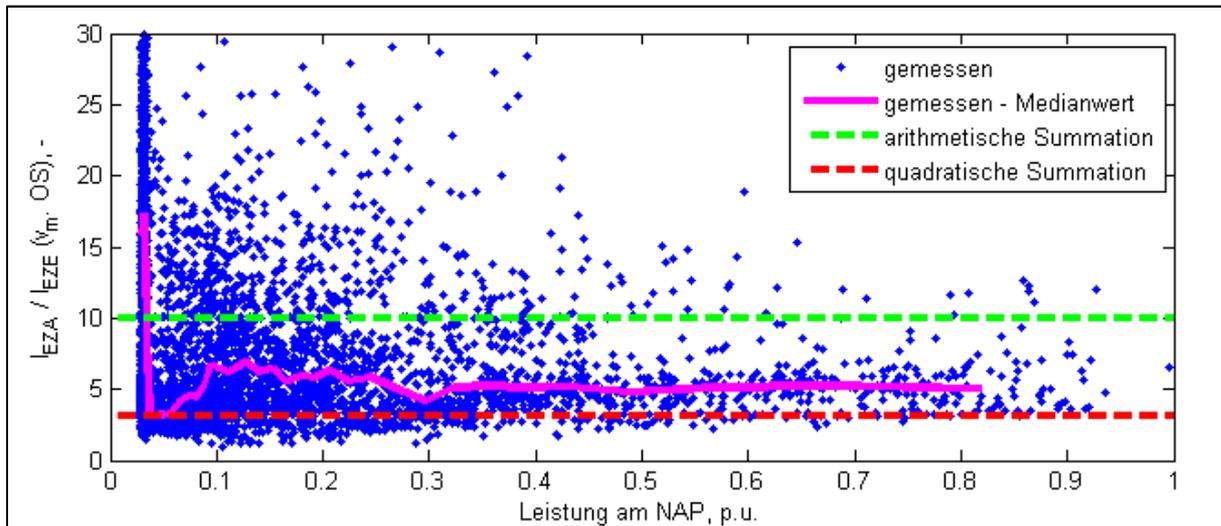


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen I_{EZA} und I_{EZE} in Abhängigkeit der Einspeiseleistung für die Oberschwingungsordnung v_m .



Untersuchung zur Identifikation und Entwicklung von Teilentladungsfehlstellen in Mittelspannungs-Kabelgarnituren

Stefan Merkel-Krell

Das Mittelspannungsnetz ist in Deutschland zu 80 % für die Nicht-Verfügbarkeit von elektrischer Energie beim Endverbraucher verantwortlich. Zukünftig steigen gerade hier die Belastungen durch die „Energiewende“ oder Elektromobilität. Gleichzeitig steigt der Kostendruck auf die Netzbetreiber durch die Regulierungsbehörden. Trotz dieser Randbedingungen ist das erklärte Ziel in Deutschland: Ausgaben z.B. für die Instandhaltung zu senken und gleichzeitig die Zuverlässigkeit mindestens auf dem momentan im weltweiten Vergleich sehr guten Niveau zu erhalten.

Deshalb wird es immer wichtiger den momentanen Zustand des Netzes noch besser als bisher zu kennen. Dabei müssen auch weiterhin die Möglichkeiten verbessert werden, kritische Bestandteile zu identifizieren und zu bewerten. Mit den richtigen Methoden und Strategien können dabei nachhaltig Ausfälle vermieden werden und gleichzeitig die Lebensdauer von Betriebsmitteln optimal ausgenutzt werden.

Das Einsetzen von Teilentladungen in Fehlstellen moderner kunststoffisolierter Kabelanlagen während des Betriebs hat dabei den größten Einfluss auf deren Zuverlässigkeit. Der größte bekannte Risikofaktor in modernen VPE-Kabelanlagen sind dabei die Garnituren (Kabelmuffen und Endverschlüsse). Hier insbesondere spezielle Montagefehler in Verbindung mit den im Netz eingesetzten Garniturentypen. Neben den Montagebedingungen „im Graben“, spielen die Schulungs-Qualität des Montagepersonals, aber auch der Schwierigkeitsgrad der Muffenmontage und die Vielfalt der eingesetzten Garniturentypen eine wichtige Rolle für die Montagequalität. Identifiziert werden solche Montagefehler, welche nicht schon während der Inbetriebnahmeprüfung „herausgeprüft“ werden können, nur durch Teilentladungsuntersuchungen während der Inbetriebnahme. Zusätzlich kann auch durch betriebsbedingte Alterung von Kabelanlagen, die Teilentladungs-Aussetzspannung bestimmter Problemstellen langsam in einen kritischen Bereich absinken. Durch Wiederholungsmessungen in kabelanlagenabhängigen Zeitintervallen kann dies beobachtet werden.

Zur Überwachung der Kabelanlagen, welche mit doppelter Betriebsspannung betrieben werden, stehen bisher die Messwerte aus bereits über 300 Vor-Ort-Diagnosemessungen an Mittelspannungs-Kabelanlagen zur Auswertung zur Verfügung. Durch den Betrieb mit der doppelten Spannung unterliegen sie außerdem einer beschleunigten elektrischen Alterung. Hieraus können zusätzlich wichtige Erkenntnisse über die Langzeitstabilität der eingesetzten Kabel im Normalbetrieb gewonnen werden.

Die Beobachtung von Teilentladungsfehlstellen mit Einsetzspannungen unterhalb der Betriebsspannung, also dauerhaft vorhandenen Teilentladungen, führt zum richtigen Zeitpunkt, also möglichst kurz vor einem Ausfall zur Auswechslung der betroffenen Garnitur. Daneben ist zu erkennen, dass beispielsweise auch ein leichtes Absinken der Aussetzspannung bei nicht dauerhaft, also oberhalb der Betriebsspannung aussetzenden Teilentladungen (Während der Vor-Ortmessung) beobachtet werden kann (Abbildung 1). Dies zeigt, dass auch zu Beginn unauffällige Stellen in Garnituren in festgelegten Zeitintervallen einer Kontrolle bedürfen, also generell

an kunststoffisolierten Kabelanlagen regelmäßig Wiederholungsmessungen durchgeführt werden sollten. Die Zeitabstände sind möglichst in Abhängigkeit von der aktuellen Einsatzspannung und der des TE-Fehlstellentyps an bekannten Garniturentypen festzulegen.

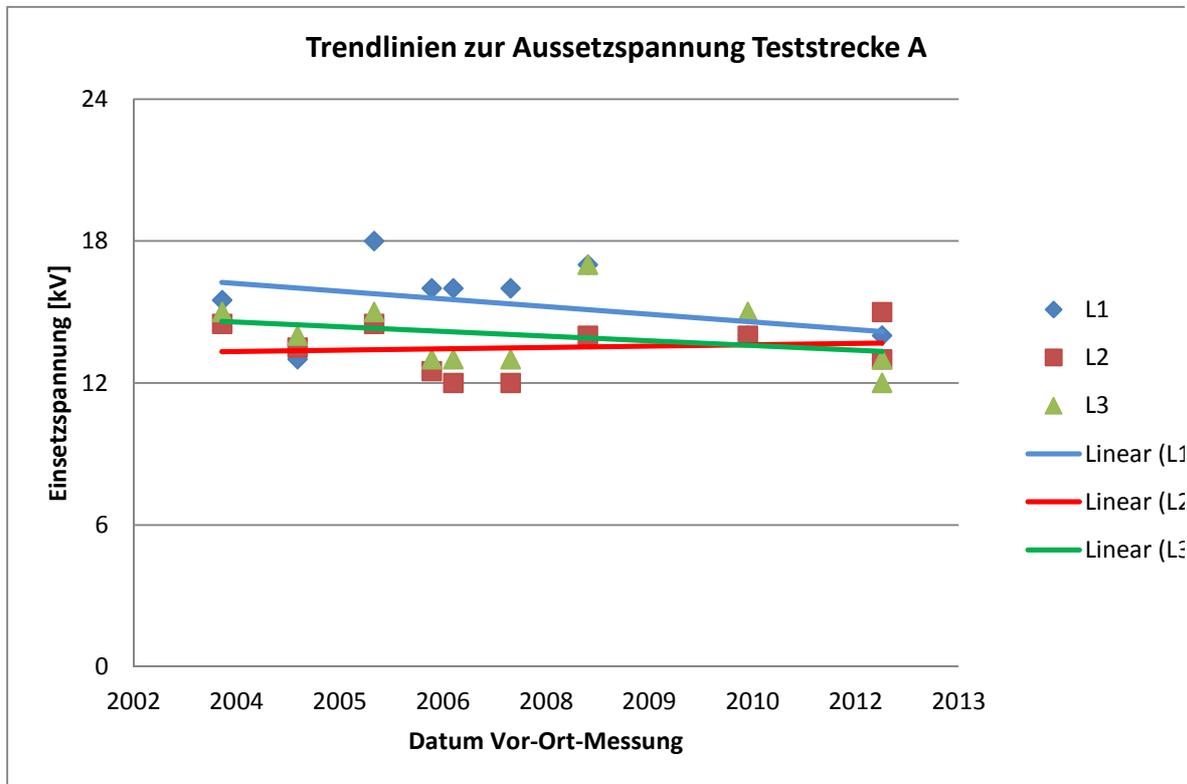


Abbildung 1: Trendlinien der TE-Aussetzspannungen Teststrecke A

Im nächsten Schritt wird die Teilentladungscharakteristik spezieller Fehlstellen eines Garniturentyps untersucht. Dabei ist das Ziel, Fehler auch bei Messungen an verschiedenen betriebsgealterten Kabelanlagen Vor-Ort wieder zu erkennen. Außerdem laufen Untersuchungen, mit Hilfe welcher Merkmale dieser Teilentladungsmessdaten Fehler am sichersten wiedererkannt werden können.



Energiemanagement und Auslegung dezentraler Multispeicher-Hybridsysteme

Martin Paulitschke

Der Zubau regenerativer Energiequellen im Elektroenergiesystem bis zu einer Versorgungsquote von 100 % stellt eine grundlegende Änderung des Aufbaus dieses Systems dar und bringt einige Herausforderungen mit sich. Aufgrund der Eigenschaften regenerativer Energiequellen hinsichtlich der nicht Planbarkeit und starken Stochastik gliedert sich die Energiespeicherung von der Energiebereitstellung aus. Fossile Energieträger stellen selbst einen Speicher dar, den man bei Bedarf in Form von Elektroenergie wandeln kann. Regenerative Energiequellen hingegen stellen keinen Speicher dar und müssen direkt beim Auftreten in Elektroenergie gewandelt werden. Aufgrund dessen wird eine Zwischenspeicherung der erhaltenen Elektroenergie bis zum zeitverzögerten Bedarf unumgänglich. Bei der Entwicklung von Speichersystemen für das Elektroenergiesystem werden verschiedene Ansätze von einer zentralen Speicherung in Großspeichern wie Pumpspeicherkraftwerken in wenigen dazu geeigneten Regionen (Norwegen, Österreich,...) bis zur dezentralen Speicherung in Kleinspeichern verfolgt, wie in Haushaltsspeichern oder Elektrofahrzeugen; von der Speicherung in verschiedenen Energieformen, von mechanischer Energie (Schwungrad) über chemische Speicher (Wasserstoff), bis hin zu elektrischen Speichertechnologien (Supercaps und Supraleitenden Spulen). Ein zukünftiges Energieversorgungssystem mit 100 % regenerativer Versorgung wird wohl nicht mit einem einzigen Lösungstyp umgesetzt werden können.

Der bei diesem Promotionsvorhaben zu untersuchende Ansatz verfolgt den Teilaspekt der dezentralen Speicherung von Überschussenergie aus ortsnahen regenerativen Energiewandlungsanlagen für die Deckung von späterem lokalem Energiebedarf. Um einen optimierten Speicher zu erhalten wird ein Multispeicheransatz gewählt, der die verschiedenen Vorteile unterschiedlicher Speichertechnologien ausnutzt und die Nachteile vermeidet. So bieten zum Beispiel Lithium Ionen Akkumulatoren eine hohe Lebensdauer bei dynamischer Belastung und die Wasserstofftechnologie eine hohe Energiedichte und geringe Selbstentladung. Um dies nutzbar zu machen wird ein intelligentes Energiemanagement benötigt welches die auftretende Differenz zwischen Angebot und Bedarf je nach Anforderung und Leistungsfähigkeit der einzelnen Komponenten möglichst optimal aufteilt. Dieses Energiemanagement muss dazu mit angepassten Modellen der verwendeten Wandlungs- und Speichertechnologien arbeiten, sowie die aktuelle Kapazität der Speicher kennen und den Bedarf abschätzen können (siehe Abbildung 1). Es wurden verschiedene Energiemanagementverfahren entwickelt und untersucht und mittels Simulation nach optimalen Parametern der Verfahren gesucht.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung eines Auslegungsverfahrens welches automatisch die optimale Konfiguration eines Multispeicherhybridsystems berechnet. Dazu werden ebenfalls Simulationen durchgeführt und durch die Abrasterung der Dimensionierungsparameter Güterwerte ermittelt die eine Konfiguration charakterisieren. Folgende Kriterien stehen dabei im Mittelpunkt:

- zu erwartende Lebensdauer der Speicherkomponenten
- benötigte Dimensionierungsgröße der Speicher

- Energieverluste die durch die Wandlung und Speicherung entstehen

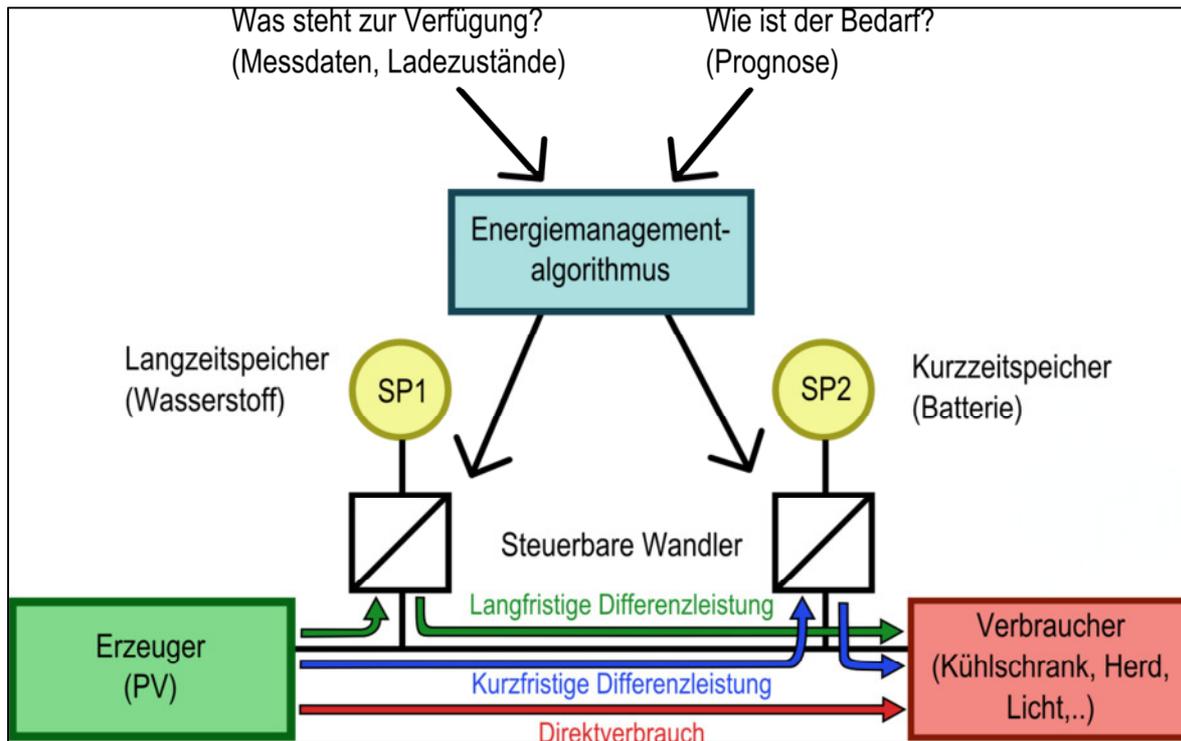


Abbildung 1: Schema Energieflüsse zur Bedarfsabschätzung

Zu Demonstrationszwecken und um praktische Erfahrungen mit der Verschaltung verschiedener Speicher zu erhalten sind in diesem Jahr einige Experimentiersysteme entstanden. Bei den durchgeführten Experimenten konnte nachgewiesen werden, wie ein solcher Hybridspeicher funktioniert, sowie welche Randbedingungen beachtet werden müssen. Diese Erfahrungen wirkten sich dann direkt auf die Weiterentwicklung der Simulationswerkzeuge aus.



Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge:

Bocklich, T.; Paulitschke, M.: *Experimental test-bed for investigation of multi-storage hybrid systems.* International Exhibition and Conference for Power Electronics Intelligent Motion Power Quality, VDE Verlag GmbH Berlin Offenbach, 2012. ISBN 978-3-8007-3431-3

Bocklich, T.; Paulitschke, M.: *Multi-storage experimental test-bed for investigation of intelligent decentralized power supply units.* PV-Hybrid and MiniGrid Konferenz, Chambery, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Regensburg, 2012.



FERRORESONANCE IN ISOLATED NETWORKS BY SWITCHING OF TRANSFORMERS

Uwe Schmidt

Problem

The natural frequency f_e in linear resonant circuit can estimate with the linear u/i-characteristic of the capacitance C and inductance L . In circuits with non-linear (**Figure**Figure 1) inductivity L_m , the value of the inductance $L_m = f(i)$ depends on the circuit current i_m .

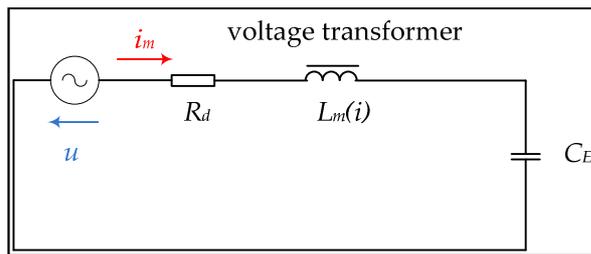


Figure 1: Single-pole-circuit for description of non-linear resonant circuit

The frequency of resonance f_{res} can be the system frequency f_n or subharmonic of the system frequency f_n . In three-phase power system configurations, the mechanism for ferroresonances is more complicated. Generally, ferroresonances can occur in system with limited extension.

A typical case for three-phase ferroresonances is the connection of inductive voltage transformers to an subnetwork with isolated neutral point. The investigated circuit is shown in Figure 2:

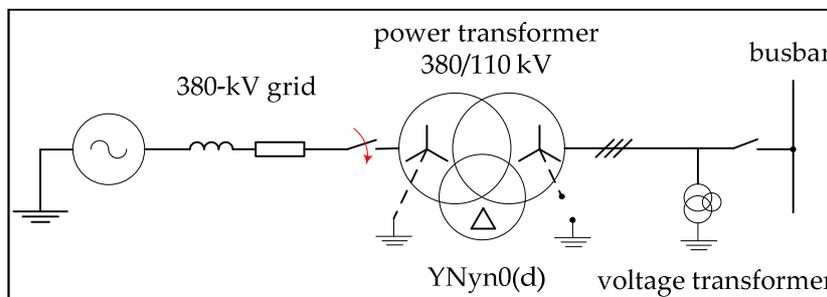


Figure 2: 110 kV-subnetwork with isolated neutral point

The equivalent three-phase circuit is depicted in Figure 3.

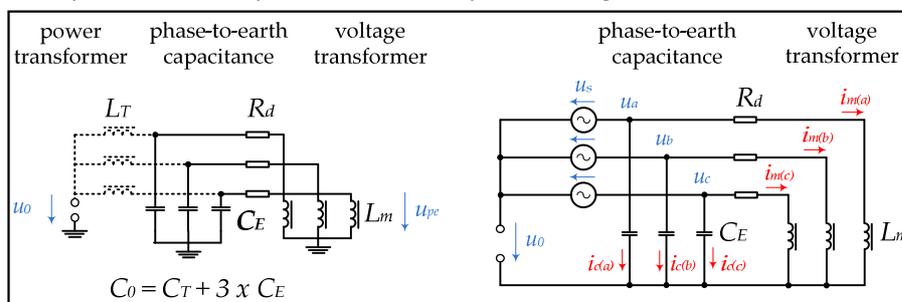


Figure 3: Three-phase-configuration for non-linear resonant circuit

In the 110 kV-subnetwork with opened 110 kV-circuit breaker, all critical conditions can be found. For example, a measured ferroresonance in subharmonic mode is shown in Figure 4. The initiation of oscillation is realized by energizing of the 380/110 kV-power transformer. The shown oscillation correlates with ferroresonances in subharmonic mode.

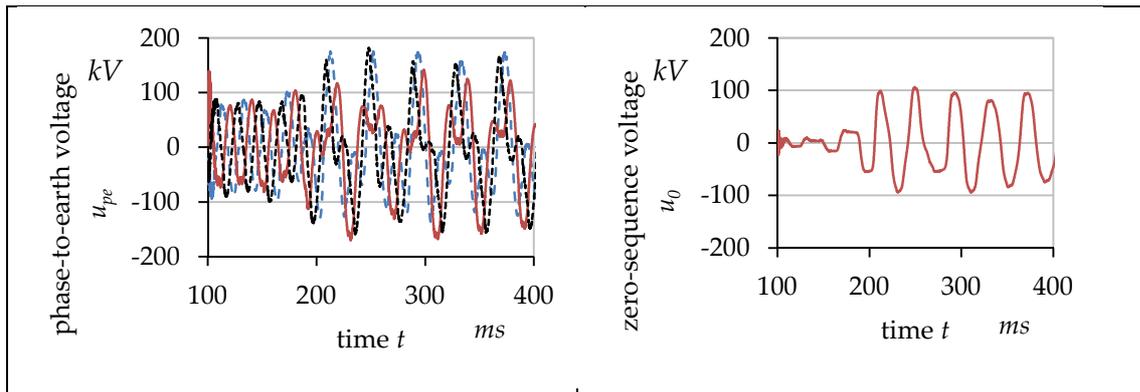


Figure 4: Example of measured three-phase subharmonic oscillation with 25 Hz in subharmonic mode

Computation of ferroresonances in three phase configurations

The model for calculation of ferroresonances is implemented in ATP/EMTP. The implemented model of the circuit is described in Figure 5. A typical 380/110 kV-transformer is the parameter base for the transformer model. The three phase saturable transformer model is used. The saturation curve is considered in the simulation.

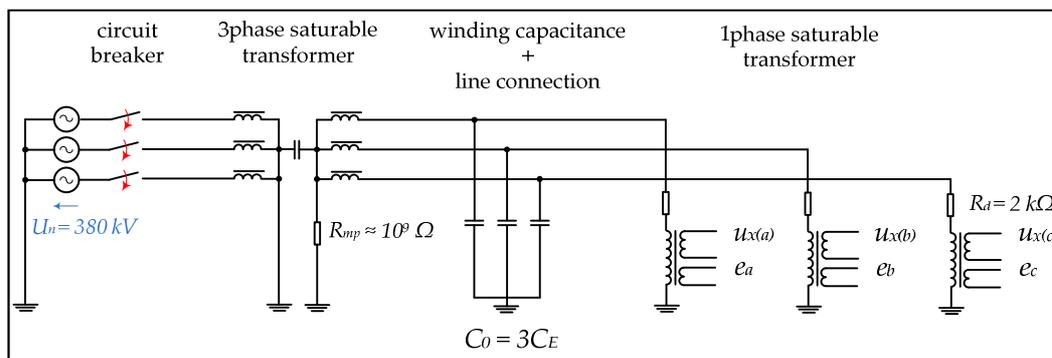


Figure 5: Implemented EMTP-model for subharmonic oscillation simulation

The 110 kV-voltage transformers are realized with one-phase saturable transformer model. The saturation curves of three voltage transformer types are used. The possibility of ferroresonances is investigated for feeder configurations with different length of line connections and therefore different earth capacitances C_E . The capacitances of the circuit can be determined by the tank capacitance of the transformes C_T and the capacitance of the line/feeder connection to the 110 kV-circuit breaker. The capacitances C_E (capacitance per phase) of line/feeder connection can be determined to $C_E = 5 \text{ pF} / \text{m}$. Typical capacitances of the 110 kV-winding of power transformers can be received from transformer manufacturer

data to approximately $C_{0(T)} \approx 3 \text{ nF}$. For the initiation of oscillation, the circuit breaker of the 380 kV-power transformer will be closed. It should be noted, that not any energizing leads to stable oscillation. The calculated oscillations depend on the switching instant. In simulations, the dependence of the earth capacitance C_E was analyzed for the non-linear characteristics of voltage transformer A, B and C. The oscillations differ essentially with regard to values of phase-to-earth voltages u_{pe} . The values of the phase-to-earth voltages U_{pe} versus the phase-to-earth capacitance C_E are shown in Figure 6.

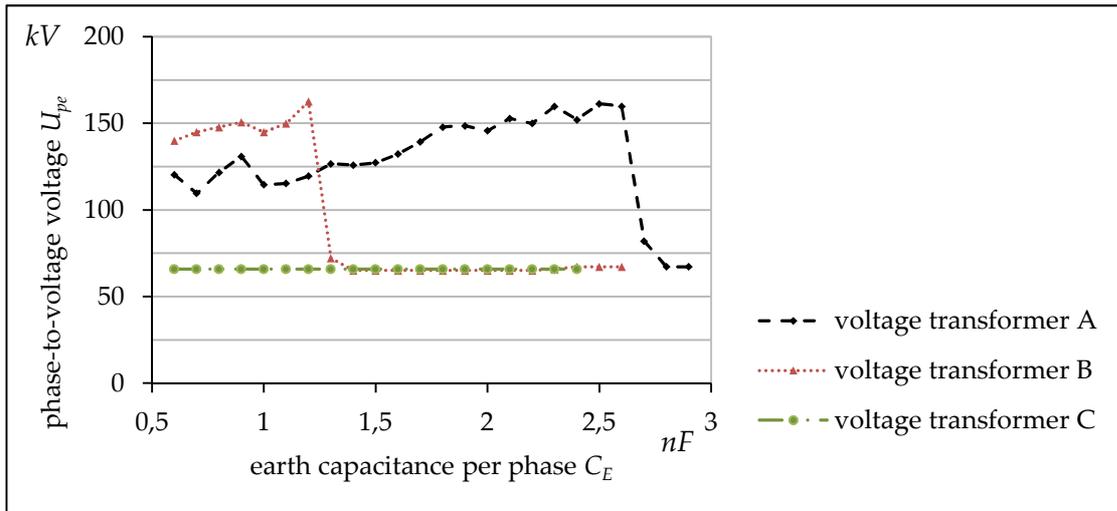


Figure 6: Simulated RMS values of phase-to-earth voltages u_{pe} for voltage transformers A, B and C

It can be seen that resonant states are possible with non-linear characteristics of voltage transformers A and B. The occurrence of oscillations depends greatly on the saturation curve of the voltage transformer. With the shape of saturation curve of voltage transformer C, oscillations are not established. For example, simulated oscillation in the phase-to-earth u_{pe} and zero-sequence voltage u_0 are shown in Figure 7 for voltage transformer A.

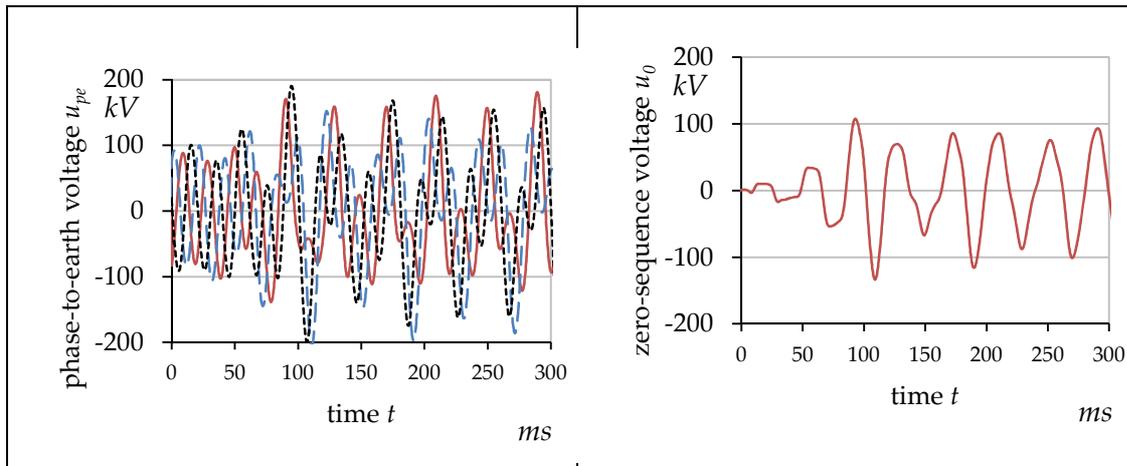


Figure 7: Phase-to-earth voltage u_{pe} after energizing of 380/110 kV-transformer

Conclusions

In small extended systems with isolated neutral point, oscillations in the zero-sequence system are possible. Cause of the oscillation is the non-linear high magnetizing inductance L_m of the voltage transformer and the low zero-sequence capacitance C_0 of the transformer feeder.

The shape of the saturation curve is essential for the occurrence of ferroresonances. The quickly saturation favors the initiation of ferroresonances. Late saturation can avoid oscillations effective.

The occurrence of ferroresonance is limited to small values of capacitances in the zero-sequence system C_0 . Typical critical values of the capacitance can define to $C_0 \leq 9 \text{ nF}$ for one voltage transformer set.



Entladungsverhalten langer Luftfunkenstrecken bei Blitz-Stoßspannungen

Ali Shirvani-Boroujeni

Das Erfassen von Vorentladungen bei einer Blitz-Stoßspannung gilt aufgrund der sehr kurzen Dauer und des dynamischen Verhaltens als besonderes schwierig. Obwohl die Ergebnisse von anfänglichen Untersuchungen seit mehreren Jahrzehnten vorliegen, fehlt immer noch eine genaue Beschreibung des Entladungsprozesses. Bereits existierende theoretische Modellvorstellungen unterscheiden sich zum Teil wesentlich. In der vorliegenden Arbeit wurde eine grundsätzliche Untersuchung des Entladungsverhaltens von langen Luftfunkenstrecken (bis zu 4 m) bei Blitz-Stoßspannungen als Ziel gesetzt. Dafür wurde ein Messsystem entwickelt, was gleichzeitige Aufnahmen von der Elektrodenspannung und dabei entstehenden elektrischen Strom der Vorentladungen bis zu einem oberen Frequenzband von 200 MHz ermöglicht. Eine Hochgeschwindigkeitskamera ist ebenfalls eingesetzt worden, um das Wachsen der sehr schnellen Vorentladungen in dem Elektroden-Zwischenraum zu visualisieren. Dabei entstehen eine Reihe Fotoaufnahmen, die sehr kurze Belichtungszeiten (im ns-Bereich) haben. In der Abbildung 1 sind vier Fotoaufnahmen von einer Vorentladung bei einer Blitz-Stoßspannung dargestellt.

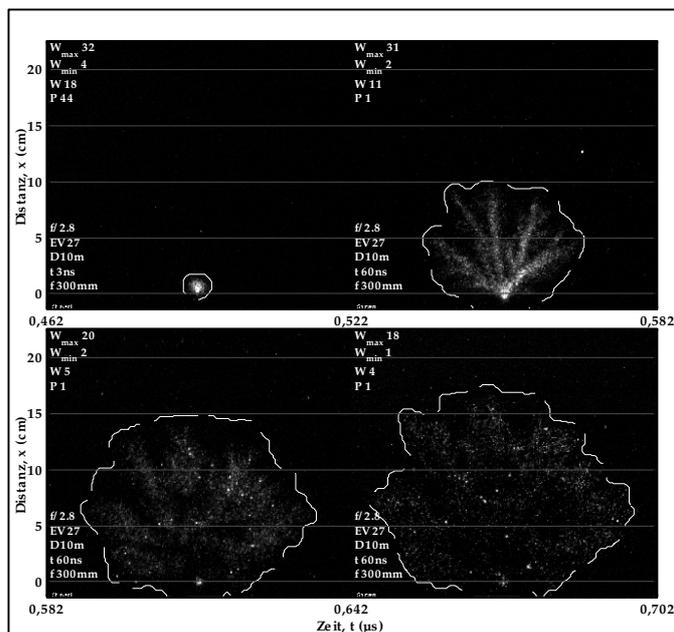


Abbildung 1: Fotoaufnahmen von einer explosionsartigen Streamer-Entladung mit einer Hochgeschwindigkeitskamera. Beginn und Ende von einzelnen Fotos ist von der Abszissenachse abzulesen. Die Ordinatenachse zeigt den senkrechten Abstand von der Spitze-Elektrode.

Das Verhalten von Vorentladungen ist in der vorliegenden Arbeit für die Spitze-Platte-Elektrodenanordnung mit einem Abstand von bis zu $s=4$ m und bei genormten und schwingenden Blitzstoßspannungen bis zu $\hat{U}=2,4$ MV untersucht worden. Die Ergebnisse ermöglichen ein besseres physikalisches Verständnis des Entladungsprozesses bei Blitzstoßspannungen.



Lastflussoptimiertes Energiemanagement dezentraler Energieversorgungseinheiten für zukünftige Niederspannungsnetzstrukturen

Jens Teuscher

Diese Forschungsarbeit ist Bestandteil der Aktivitäten der Nachwuchsforschergruppe „Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme“ im Teilprojekt 7. In der Nachwuchsforschergruppe wird dabei mit TP1 (Prognosemodelle), TP2 (Interaktion mit dem Hausmanagement) sowie TP6 (Lastprofilgenerator) zusammengearbeitet.

Im Zuge des steigenden Anteils von Anlagen auf Basis Erneuerbarer Energien sowie neuartiger Verbraucher (z. B. Elektromobilität) werden vor allem die historisch gewachsenen Verteilnetze vor neue Herausforderungen gestellt. Um dennoch einen rohstoffintensiven Netzausbau zu vermeiden, gibt es die Möglichkeit, ein Energiemanagement in der Niederspannungsebene einzusetzen (siehe Abbildung 1). Da bis zu 75% der Leitverluste im Niederspannungsnetz verursacht werden, liegt die Optimierung des Energieflusses dieser Verteilnetzebene im Fokus des Managements. Das zu entwickelnde Managementsystem auf Netzebene soll dabei einen sicheren, aber auch einen nachhaltigen Netzbetrieb gewährleisten.

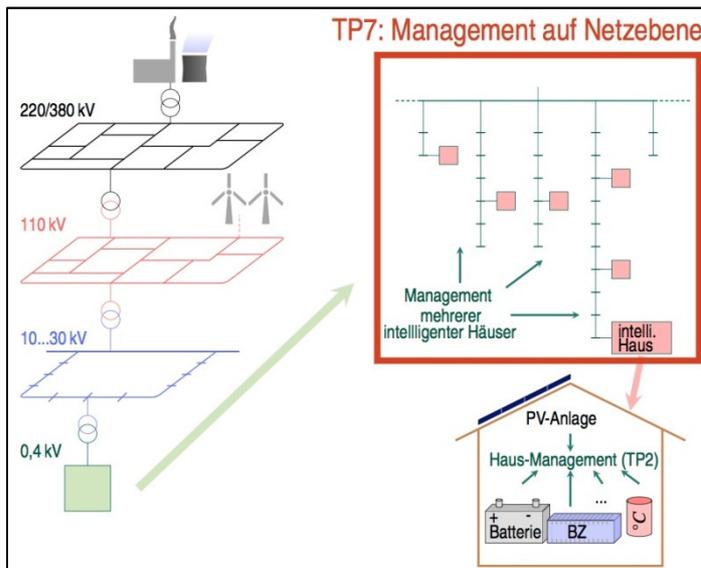


Abbildung 1: Überblick über die Managementsysteme

Als Testumgebung für das Managementsystem dienen Modelle von realen städtischen und ländlichen Niederspannungsnetzen. Aufgrund der zahlreichen verschiedenen Energiezeitreihen in einem Niederspannungsnetz wurde als Simulationsumgebung MATPOWER ausgewählt, welches auf MATLAB basiert. Hierzu wurden Erweiterungen zur Auswertung der Leistungsflussberechnungen selbst entwickelt. Weiterhin besteht eine gute Möglichkeit, die Berechnungen mit selbst implementierten Steuerungsalgorithmen zu kombinieren. Bei der Beschreibung des Netzmanagements wird davon ausgegangen, dass jedes intelligente Haus (Abbildung 1) aufgrund der Speichermöglichkeiten als Verbraucher oder Einspeiser gesehen werden kann. Basierend auf dieser Randbedingung erhält jedes Haus ein individuelles Anreizsignal, je nach aktueller Lastsituation. Ist das Anreizsignal positiv, soll verbraucht werden, ist es negativ, soll Elektro-

energie eingespeist werden. Dieses Anreizsignal wird aus verschiedenen Faktoren gebildet. So geht neben der aktuellen Lastsituation im gesamten Niederspannungsnetz, die Lastsituation im vorgelagerten Mittelspannungsnetz sowie der Last am jeweiligen Hausanschlussknoten auch eine Leistungsflussoptimierung mit in die Signalbildung ein. Mit dieser Leistungsflussoptimierung wird sichergestellt, dass Verbraucher und Einspeiser möglichst nahe aneinander liegen. Dadurch wird zum einen eine Reduzierung der Netzverluste erreicht, jedoch werden damit auch Belastungsgrenzen und Spannungsbandgrenzen eingehalten.

In Abbildung 2 ist dargestellt, wie sich die einzelnen Knoten (intelligenten Häuser) verhalten, und welche unterschiedlichen Anreizsignale sie erhalten.

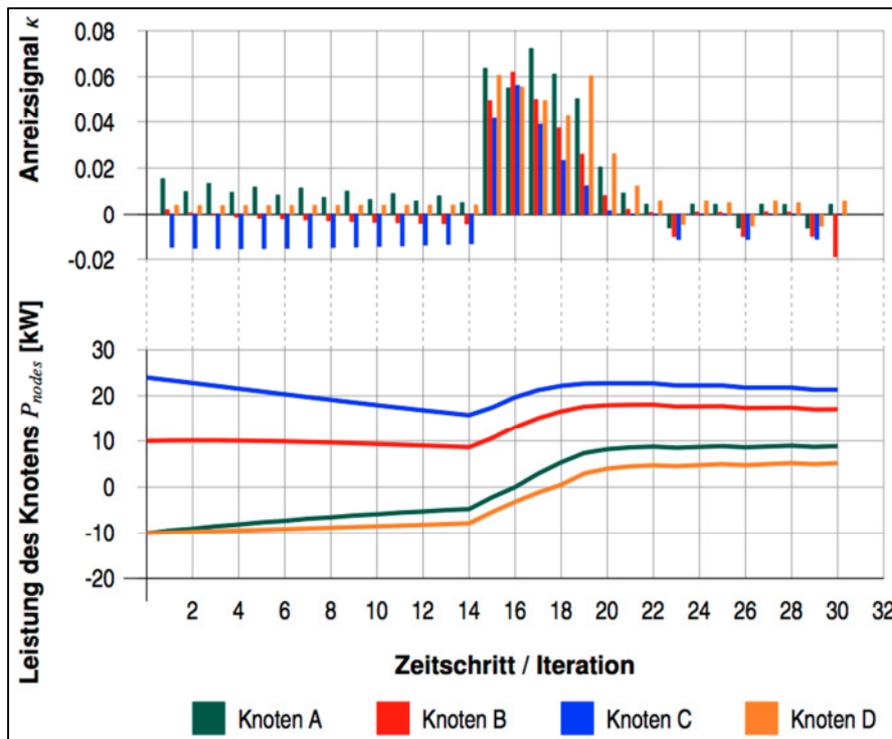


Abbildung 2: Verlauf des Anreizsignals und Reaktion der Knoten

Dabei ist in den ersten 15 Zeitschritten ein Szenario simuliert, in dem es keinen Ausgleich mit dem vorgelagerten Netz gibt. Hier versorgen die Haushalte sich untereinander, sodass einige ein positives und einige ein negatives Anreizsignal gesendet bekommen. Ab Zeitschritt 15 wird ein Energieüberschuss im vorgelagerten Netz simuliert. Das Anreizsignal wird positiv, sodass alle Haushalte möglichst viel verbrauchen sollen. Wie Abbildung 2 zeigt, reagieren die Haushalte, in dem sie ihren Verbrauch erhöhen oder sogar ihre Einspeisung in Verbrauch wandeln.

Diese Simulationen basierten auf der Randbedingung, dass die Haushalte auf das Anreizsignal reagieren. In einem weiteren Schritt wurde jedoch auch gezeigt, dass das Managementsystem auch bei Nichtreagieren einiger Haushalte funktionsfähig bleibt. So wurde ein zufälliges Nichtreagieren zufällig ausgewählter Haushalte simuliert. Bei einem Nichtreagieren wird das Anreizsignal für den entsprechenden Knoten deutlicher, während auch das der Nachbarn mit angepasst wird. Dieser durchgeführte Management-Ansatz basiert auf einer kontinuierlichen Leistungsflussberechnung, wodurch die Rechenzeit einer Echtzeitfähigkeit im Wege steht. Aktuelle Untersuchungen verfolgen daher, die Leistungsflussberechnung in diesem Ansatz zu reduzieren und so eine Echtzeitfähigkeit herzustellen.

5 Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten

Auch im Jahr 2012 konnten an unserer Professur viele Studierende bei deren Studiumabschluss positiv unterstützt und begleitet werden. Nachfolgend sind die Themen dieser Abschlussarbeiten aufgeführt. Detailliertere Informationen und Hinweise zu allen wissenschaftlichen Arbeiten können auf unserer Homepage eingesehen werden.

<http://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/lehre/studentischearbeiten.php>

Wir wünschen allen Absolventen für Ihre Zukunft viel Zufriedenheit und Erfolg!

5.1 Bachelorarbeiten

Alexander Klitzsch	Erarbeitung einer Schnittstelle zwischen intelligenten Gebäude- und Netzmanagement
Martin Berlit	Erarbeitung eines Stufenplans für eine Erneuerungsstrategie von Massekabel
Reik Liebmann	Die Integration von Erneuerbaren Energien in die deutsche Energiewirtschaft durch das EEG aus Sicht eines Verteilnetzbetreibers mit besonderem Hinblick auf die Problematik des Einspeisemanagements
Christian Scheibe	Wechselstromkorrosion auf Gasleitungen in unmittelbarer Nähe von Drehstromkabelanlagen
Jens Kowalsky	Untersuchung der maximal möglichen Photovoltaikeinspeisung in einem dicht besiedelten Stadtgebiet
Viktor Tudor Pop	Zur Frage der Entwicklung einer Vorgehensweise zur strukturierten Umstellung von 10-kV-Mittelspannungsnetzen auf 20 kV mit Schwerpunkt auf der Vorbetrachtung an einem realen Netzbeispiel.
Thomas Kluge	Einfluss der Spannungsverzerrung in der Prüfspannung auf die Bestimmung des Verlustfaktors bei Verwendung digitaler Messtechnik

5.2 Masterarbeiten

Udo Müller	Netzintegration des Energiekonzeptes Vogtland in der Hoch- und Mittelspannungsebene
-------------------	---

5.3 Diplomarbeiten

Jonas Wolfrum	Implementierung von Piloteinsätzen des Sensornetzwerkes ASTROSE auf 110 kV-Freileitungen
Christoph Ruckau	Analysemethoden zur Teilentladungsdiagnose kunststoffisolierter Mittelspannungskabelsysteme
Marcus Kreuziger	Erstellung eines multivariablen Prognosetools zur Visualisierung von Potentialrealisierungen bzgl. Erneuerbarer Energien
Tobias Miessler	Möglichkeiten und Grenzen von Pi-Gliedern zur Modellbildung transienter Vorgänge auf Hochspannungsleitungen
Thomas Schmidt	Analyse stochastischer Einflüsse des Ladevorganges von Elektrofahrzeugen und deren Auswirkungen auf das Netzmanagement

5.4 Dissertationen

Steffen Hetzel	Zur Frage der Identifikation und Bewertung von Investitionsalternativen in Mittelspannungskabelnetzen ISBN 978-3-941003-57-6
-----------------------	---

6 Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge

Die im Jahr 2012 getätigten Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge sind nachfolgend aufgeführt und können bei Bedarf auf unserer Homepage eingesehen werden.

Hadid, S; Schmidt, U; Schufft, W; Rätzke, S: *Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors $\tan \delta$ an VPE-isolierten Kabeln.* VDE Verlag, ETG-Fachbericht, 2012. 978-3-8007-3465-8

Hunold, S.; Schufft, W.: *Ein Beitrag zur Ermittlung des verbleibenden Isoliervermögens teilentladungsbehafteter Mittelspannungskabelmuffen.* Fulda, ETG-Fachtagung , Diagnostik elektrischer Betriebsmittel 2012, VDE VERLAG GMBH, Berlin und Offenbach, 2012. ISBN 978-3-8007-3465-8, ISSN 0341-3934

Götz, A; W. Schufft: *Anforderungen an ein smart grid mit Aufwand-Nutzen-Optimum.* Stuttgart, VDE Verlag, 2012. 978-3-8007-3446-7

Schmidt, U.; Shirvani A.; Pietzsch H.: *Ferroresonance in isolated networks by switching of transformers.* Zwickau, EEG 2012, 2012

Malekian, K.; Hoshmeh, A. ; Schmidt, U.; Adloff, S.: *Messen und Analysieren am Netzanschlusspunkt - Oberschwingungsverhalten von Windparks.* Deutschland, ew - das magazin für die energie wirtschaft, 2012. ISSN 1619-5795 - D 9785 D.

Michael Müller; Götz, A: *Rechnung mit vielen Unbekannten.* Freie Presse, 2012.

Teuscher, J.; Götz, A. ; Schufft, W.: *Veículos elétricos e seus efeitos sobre as redes de baixa tensão.* Sao Paulo, Eletricidade Moderna Magazine, 2012. ISSN 0100-2104

Schmidt, U.; Shirvani A.; Probst R.: *An improved Algorithm for Determination of Cable Parameters Based on Frequency-dependent Conductor Segmentation.* IEEE & PES Conference 2012; Orlando, 2012.

Bocklisch, T.; Paulitschke, M.: *Experimental test-bed for investigation of multi-storage hybrid systems.* International Exhibition and Conference for Power Electronics Intelligent Motion Power Quality, VDE Verlag GmbH Berlin Offenbach, 2012. ISBN 978-3-8007-3431-3

Bocklisch, T.; Paulitschke, M.: *Multi-storage experimental test-bed for investigation of intelligent decentralized power supply units.* PV-Hybrid and MiniGrid Konferenz, Chambery, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Regensburg, 2012

Teuscher, J.; Schufft, W.; Zeising, Vanessa: *Loss-Optimising-Management-Algorithm and the usage in an energy management for low-voltage grids.* International Conference on Renewable Energies and Power Quality 2012, Santiago de Compostela, 2012. 978-84-615-6648-8

Hetzel, Steffen: *Zur Frage der Identifikation und Bewertung von Investitionsalternativen in Mittelspannungskabelnetzen.* Chemnitz, Techn. Univ., Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, 2012. ISBN 978-3-941003-57-6

7 Externe Aktivitäten und Kontakte

7.1 Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien

Datum	Person	Veranstaltung	Ort
28.-30.03.12	Teuscher	International Conference on Renewable Energy and Power Quality ICREPQ'12	Santiago de Compostela
25.-27.4.2012	Bocklisch, Th.; Paulitschke	6th European Conference PV-Hybrids and Mini-Grids 2012	Chambery
8.-10.5.2012	Bocklisch, Th.; Paulitschke	International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management	Nürnberg
13.06.2012	Teuscher	3. Mitteldeutsche Energieeffizienztagung	Erfurt
21.06.2012	Götz	EEX-Workshop	Leipzig
26.-31.08.2012	Prof. Schufft	CIGRE Session	Paris
06.09.2012	Teuscher, Kühnert, Paulitschke	Sunplugged Bühne Ferropolis - Ergebnisse zweier Zukunftswerkstätten	Berlin
26.-28.09.12	Teuscher	CONCERT Japan - Partnering Event	Mailand
23.10.2012	Bocklisch, Th.	Sächsisches Forum für Brennstoffzellen und Energiespeicher	Leipzig
24./25.10.2012	Krell, Hadid	VDE Kabelkreis Kabeltechnik	Hof
25.10.2012	Bocklisch, Th.	Workshop "Energiespeicher für die optimale Netzintegration Erneuerbarer Energien"	Chemnitz
5./6.11.12	Götz	VDE-Kongress "Smart Grid"	Stuttgart
12.-14.11.2012	Bocklisch, Th.	7th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition	Berlin
15./16.11.12	Hadid	ETG-Fachtagung	Fulda
4.-6.12.2012	Bocklisch, Th.	5th International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy Resources	Berlin

7.2 Gäste an der Professur

27.02.2012	Herr Dr. Kornhuber	Doble-Lemke GmbH, Kesselsdorf
09.03.2012	Herr Stefan Freiherr von Freiberg	GELTECH GmbH, Dresden
13.03.2012	Frau Dr. Raetzke, Herr Langnaese	OMICRON electronics GmbH, Klaus/Austria
03.04.2012	Herr Dr. Feuchte	Fachbuchverlag Leipzig, Karl Hanser Verlag GmbH und Co. KG
11.05.2012	Herr Hergert	Landratsamt Vogtlandkreis Plauen
30.05 2012	Herr Vettters, Herr Hartl	eins energie
30.05 2012	Herr Uhlig	ELICON
30.05 2012	Herr Winkler	enviaM
30.05 2012	Herr Coriand, Herr Dr. Hinkel	Photon AG
30.05 2012	Herr Bender, Herr Rudolph	Siemens AG
31.05.2012	Herr Dr. Mehner	GWT - SPVA (Sächsische Patentverwertungsagentur)
04.07.2011	Herr Prof. Mühlbacher	Westsächsische Universität Pilsen, CZ
20.07.2012	Herr Zillmer	Netzgesellschaft Chemnitz mbH
25.07.2012	Herren Gramsch, Khosravi	Hagenuk KMT Kabelmesstechnik GmbH
31.08.2012	Herr Coriand	Photon AG
31.08.2012	Herr Morawetz, Herr Neubauer	EA EnergieArchitektur GmbH
03.09.2012	Frau Schulze, Herr Noske	MITNETZ STROM
19.09.2012	Herr Kramer	envia Netzservice GmbH, Freiberg
20.09.2012	Herr Zillmer, Frau Kramer	Netzgesellschaft Chemnitz mbH
20.09.2012	Frau Mehner	GWT - TUD GmbH
26.09.2012	Herr Dr. Leu	TU Ilmenau, Institut für Elektrische Energie- und Hochspannungstechnik
16.10.2012	Herr Mario Herbst	SSS Energietechnik und Netzservice GmbH
17.10.2012	Herr Zillmer	Netzgesellschaft Chemnitz mbH
25.10.2012	Herr Brabandt	E.ON edis AG, Fürstenwalde
08.11.2012	Herr Schlapp, Denisov, Putter	sebaKMT Baunach
28.11.2012	Herr Frühauf	envia Netzservice GmbH, Limbach-Oberfrohna
17.12.2012	Herr Dr. Lissek	MITNETZ STROM

7.3 Höhepunkte

7.3.1 Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Steffen Hetzel am 26.01.2012

„Zur Frage der Identifikation und Bewertung von Investitionsalternativen in Mittelspannungs-Kabelnetzen“

In seiner Dissertation beschäftigte er sich mit der Frage nach optimierten Investitionsstrategien für Verteilnetzbetreiber. Es wurden mögliche Vorgehensweise zur Identifikation und Bewertung von alternativen Investitionsstrategien auf Basis einer umfassenden Analyse des vorhandenen Betriebsmittelbestandes vorgestellt. Zur Bearbeitung der Fragestellung wurde eine Software entwickelt, mit der Mittelspannungs-Kabelnetze umfassend analysiert werden können. Weiterhin wurden mögliche Bewertungskriterien dargestellt, anhand derer Investitionsalternativen identifiziert werden können. Die entwickelte Software ermöglicht weiterhin die Bewertung künftiger Netzstrukturen.



Wir gratulieren Herrn Dr. Hetzel herzlich und wünschen ihm eine glückliche und erfolgreiche Zukunft!

7.3.2 Nachwuchsforschergruppe fahrE (Titelfoto des Jahresberichts)

Die Nachwuchsforschergruppe „fahrE – Konzepte für multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien“

Im Januar 2012 fiel der Startschuss für ein interdisziplinäres Forschungsprojekt der Technischen Universität Chemnitz, das sich mit Anforderungen, Problemstellungen und möglichen Lösungsansätzen zur vernetzten Mobilität im städtischen Raum beschäftigt. Am Projekt beteiligt sind vier Nachwuchsforscher der Professuren Arbeitswissenschaft, Allgemeine und Arbeitspsychologie, Energie- und Hochspannungstechnik und Nachrichtentechnik, die an drei Fakultäten angesiedelt sind. Das dreijährige Projekt wird vom Europäischen Sozialfonds (ESF) durch die Europäische Union und den Freistaat Sachsen (Projektträger Sächsische AufbauBank) mit 876.000 Euro gefördert.

Die meisten Wege, auch kurze Entfernungen, werden heutzutage mit dem Auto zurückgelegt. Aufgrund der zunehmenden Verknappung fossiler Brennstoffe und der steigenden Umweltbelastung wurde auf nationaler Ebene von der Bundesregierung das Ziel ausgegeben, die Anzahl von Elektrofahrzeugen auf den Straßen spürbar zu erhöhen. Bei allem Fortschritt in der Automobiltechnik ist zu erkennen, dass bei der effizienten Energienutzung bzw. der Einsparung von Energie bei Elektromobilen noch deutliches Potential für Verbesserungen besteht. Wesentlich ist dabei

die Tatsache, dass Elektrofahrzeuge nur dann umweltfreundlich sind, wenn die dabei verwendete Elektroenergie möglichst "grün" erzeugt wird. Es gilt in diesem Zusammenhang, die individuelle Mobilität umweltfreundlicher zu gestalten. Dazu ist es erforderlich, die vorhandene Verkehrsinfrastruktur an die sich ändernden Anforderungen anzupassen. Dies betrifft zum Beispiel öffentlich zugängliche Ladesäulen, aber auch einfach erreichbare Stellplätze für die Fahrzeuge. Der Anspruch der Nachwuchsforschergruppe ist es diesen Trends gerecht zu werden und ein nachhaltiges Mikromobilitätskonzept zu entwickeln. Das Konzept soll für kurze und mittlere Wege, basierend auf Elektrofahrzeugen, eine Mobilitätslösung anbieten, welche besonders auf Nutzerfreundlichkeit und ökologische Nachhaltigkeit fokussiert ist.

Ziel des Projektes ist die praktische Umsetzung eines innovativen und nachhaltigen Mobilitätskonzeptes für kurze und mittlere Wege. Die TU Chemnitz bietet dabei mit ihren vier Standorten innerhalb der Stadt eine ideale Untersuchungsumgebung. Es ist geplant, dass Nutzer mit Hilfe moderner Web- und Smartphone-Applikationen Vorschläge zur schnellsten und gleichzeitig umweltfreundlichsten Transportmöglichkeit zwischen diesen Standorten abrufen können. Gleichzeitig sollen sie Informationen zur aktuellen Verfügbarkeit von bereitgestellten Elektrofahrzeugen und zum öffentlichen Nahverkehr erhalten. In diesem Szenario soll exemplarisch ein alltagstaugliches, zukunftsweisendes Mobilitätskonzept entwickelt und getestet werden, in dem ein modernes Mobilitätsmanagement mit nachhaltiger Elektromobilität unter Einbeziehung regenerativer Energien miteinander verknüpft wird.

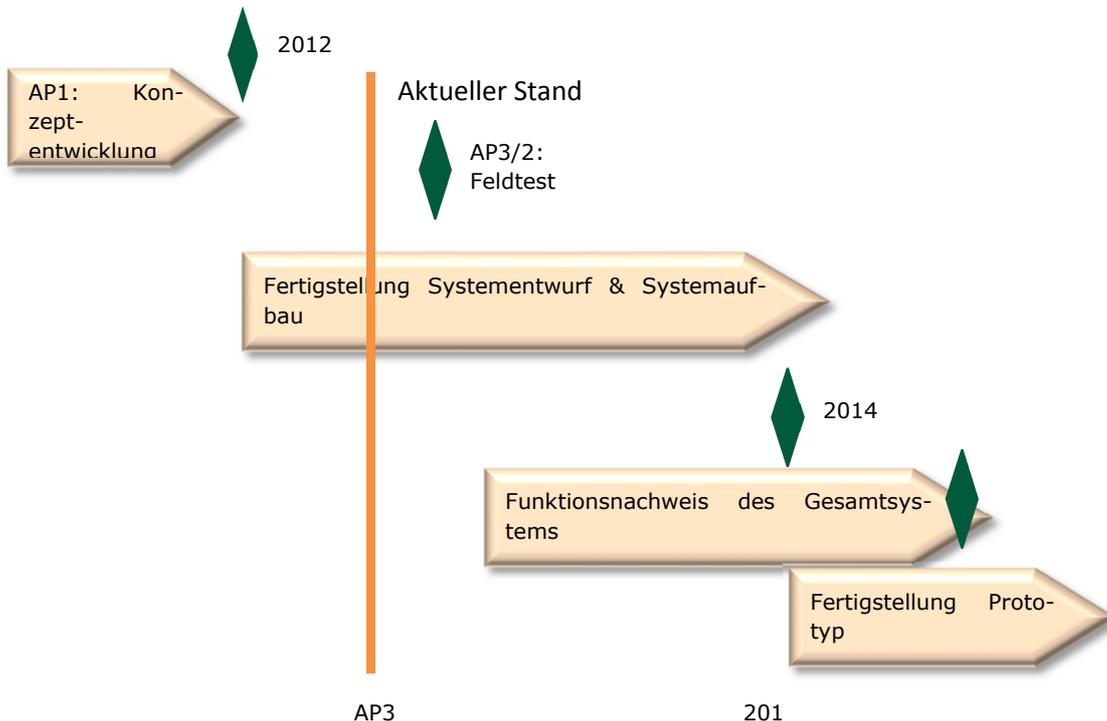


Abbildung 1: Zeitplan von fahrE

Im ersten Jahr der Nachwuchsforschergruppe konnte das Mobilitätskonzept entwickelt werden und erste Schritte der Praktischen Umsetzung wurden getätigt (Abb. 1). Das Mobilitätskonzept umfasst dabei die vier Universitätsstandorte und wird diese, zusätzlich zum öffentlichen Personennahverkehr, mit acht Pedelecs und vier Elektrofahrzeugen vernetzen (Abb. 2). Um die Elektrofahrzeuge und die Pedelecs aufzuladen befinden sich aktuell vier Ladesäulen in Bau. Zusätzlich wurde bereits die Backend- und Kommunikationsinfrastruktur geplant. Durch die Professur Ener-

gie- und Hochspannungstechnik wurde bereits ein wesentlicher Teil der Integration lokaler regenerativer Energien in die Elektrofahrzeuge entwickelt, sowie die Planungsschritte zur Errichtung der Ladeinfrastruktur durchgeführt.

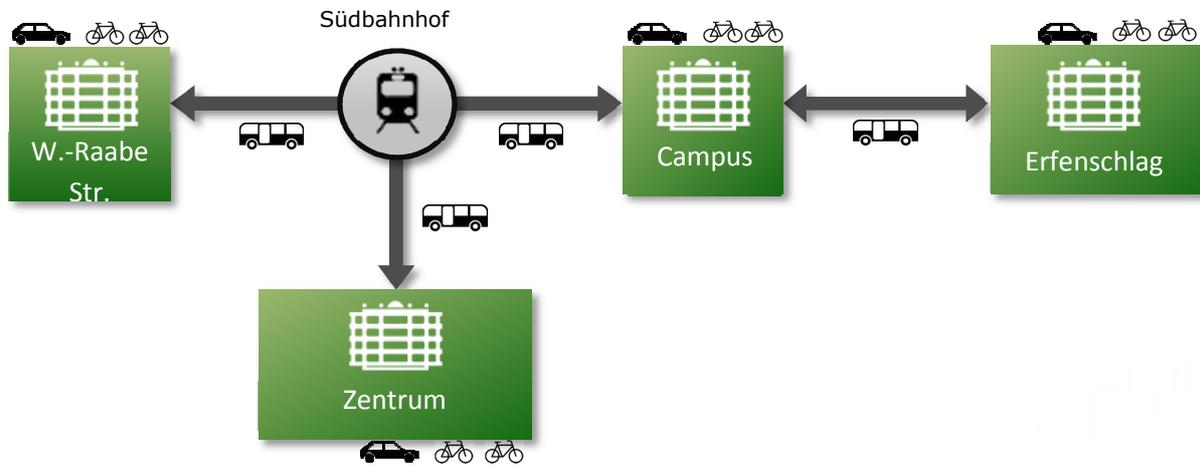


Abbildung 2: Schematische Struktur des Mobilitätskonzeptes von fahrE

7.3.3 Fachexkursion zur Biogasanlage in Grüna am 6. Juni 2012

Das Ziel der diesjährigen Exkursion war die Biogasanlage in Chemnitz/Grüna. Ein großer Teil der Professur reiste gleich, um den ökologischen Aspekten dieses Tages gerecht zu werden, mit Bahn oder gar dem Fahrrad an. Auf dem Hinweg bot sich dabei ein kurzer Besuch bei Frau Wickleder unserer Sekretärin i.R. (a.D.) an und sorgte für große Freude auf allen Seiten.



Gegen 10:00 Uhr fand man sich dann im Konferenzraum der Biogasanlage ein. Nach ausführlichen Erläuterungen zur gesamten Anlage und der kurzen, aber dafür hochinteressanten Geschichte des kleinen Unternehmens konnte Herr Slesazek, der sehr engagierte Anlagenbetreiber, alle Fragen aus unserer Runde umfassend beantworten. Beim Rundgang durch die Anlage wurde klar, dass er selbst an jeder Schraube, jedem Rohr, auch im BHKW seiner Anlage höchstpersönlich mit geplant und Hand angelegt hatte. Zudem ist er kontinuierlich um Zubau bemüht. So leistet das Kraftwerk momentan hauptsächlich mittels Grünschnittverwertung aus dem Chemnitzer Umland bereits 4 GWh Elektroarbeit in rund 7.000 jährlichen Vollaststunden und nicht zu vergessen die einhundertprozentige Nutzung der 8 GWh Abwärme.

Zum Mittagessen fanden sich die Teilnehmer dann im Forsthaus Grüna bei ausgezeichneter sächsischer Küche ein. Nach reichlichem Essen ging es zu einer kurzen Wanderung Richtung Aussichtsturm auf den Totenstein, mit seiner fantastischen Aussicht über das Chemnitzer Umland. Alles in allem, auch wegen der guten Planung ein äußerst erlebnisreicher und sehr interessanter Tag.

7.3.4 Workshop „Energiespeicher für die optimale Netzintegration Erneuerbarer Energien“ am 25. Oktober 2012

Eine nachhaltige Energieversorgung auf der Basis von 100% Erneuerbaren Energien benötigt neben leistungsfähigen Übertragungs- und Verteilnetzen eine nennenswerte Kapazität zur Speicherung überschüssiger Energie im Kurzzeit- und Langzeitbereich. Der diesjährige Workshop der Nachwuchsforschergruppe „Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme“ widmete sich aktuellen Forschungsergebnissen und Anwendungserfahrungen zu technischen Energiespeicherlösungen.

Ausgangspunkt zur Betrachtung von Energiespeichern im Elektroenergiesystem bildet die Systemanalyse der Potentiale und Schwankungseigenschaften des Solar- und Windenergieangebots und der abgeleiteten Anforderungen an die Energiespeicher. Hierzu konnte der erste Referent, Herr Dr. Breyer, einer der Geschäftsführer des Reiner Lemoin Instituts, in seinem Vortrag die Potentiale von Wind- und Solarenergie verdeutlichen. Weiterhin stellte er eine Prognose für den Bedarf an Elektroenergiespeichern unter Beachtung wirtschaftlicher Randbedingungen, auf Grund der Zunahme des Anteils regenerativer Energiequellen vor. Dr. Thilo Bocklisch von der gastgebenden TU stellte im Anschluss die Konzepte und Forschungsergebnisse der Nachwuchsforschergruppe zur

dezentralen Speicherung von Überschussenergie aus Eigenheim-Photovoltaik-Anlagen vor. Der verfolgte Multi-Speicher Ansatz soll dabei, durch eine optimale Nutzung der Eigenschaften unterschiedlicher Speichertechnologien, ein Gesamtoptimum in technischer sowie wirtschaftlicher Sicht erbringen. Auch berichtete er von den Erfahrungen die mit dem in der Forschergruppe entwickelten und aufgebauten Experimentiersystemen gemacht werden konnten.



Nach der Kaffeepause, während die Poster der einzelnen Teilprojekte der Forschergruppe vorgestellt wurden, folgten zwei Vorträge mit dem Schwerpunkt auf der Regelleistungsbereitstellung durch Speichertechnologien. Dazu hielt Alexander Gitis von der RWTH Aachen einen Vortrag zur Regelenergiebereitstellung durch Batteriespeichertechnologien, bei dem die Grundlagen der Regelleistungsbereitstellung

aufgezeigt wurden und mögliche Batteriespeichertechnologien vorgestellt wurden. Prof. Menke, Geschäftsführer der Eurosolid Power Systems AG, stellte mögliche Geschäftsmodelle für die Nutzung von Batteriespeichern im Elektroenergiesystem aus Sicht eines Unternehmens vor. Hierbei wurde deutlich, dass auch jetzt schon ein wirtschaftlicher Betrieb von Speichertechnologien zur Stützung des Energieversorgungssystems gegeben sein kann.

Angeregte und teilweise kontroverse Diskussionen, jeweils im Anschluss an die Vorträge, verdeutlichten das hohe Interesse von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik an dem Themengebiet der Energiespeicherung im dezentralen Bereich des zukünftigen Energieversorgungssystems.

7.3.5 Weihnachtsfeier am 13. Dezember 2012

Auch in diesem Jahr trafen wir uns in der Vorweihnachtszeit in geselliger Runde. Unser diesjähriger Jahresabschluss wurde im „Forsthaus Grüna“ gefeiert.



Schon bei der Anfahrt durch die winterliche, tief verschneite Landschaft kam auch schon entsprechende weihnachtliche Stimmung auf. Im alten Schützensaal hatten wir eine schön eingedeckte Tafel für uns.

Auch die gut abgestimmte Speisekarte ließ keine Wünsche offen.

Die zu viel „angefutterten“ Kalorien konnten wir im Anschluss an das Essen auf den beiden Bowling-Bahnen wieder abtrainieren!

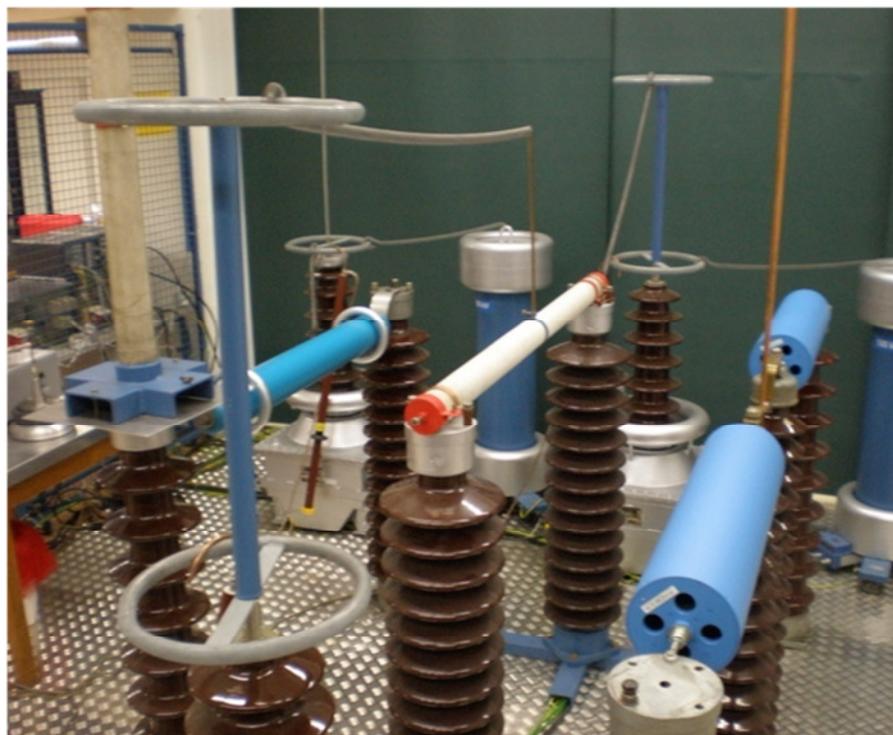
8 Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik



Praktika:
Funkenstrecken

Erzeugung und
Messung hoher
Gleich- und Wechsel-
spannungen

Abbildung: Prüfsystem zur Erzeugung von Gleich-, Wechsel, und Stoßspannungen bis 100kV



Praktikum:
Isolatoren

Abbildung: Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200kV



Abbildung: Geschirmte Messkabine zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung

Praktikum:
Verlustfaktormessung
($\tan \delta$)



Abbildung: Stoßspannungsgenerator zur Erzeugung von Blitzstoß- und Schaltstoßspannungen bis 600 kV

Praktikum:
Erzeugen von Stoßspannungen/
Einfluss der Elemente des
Stoßspannungsgenerators



Abbildung: Wechselspannungs-Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200 kV



Abbildung: Mobiles Resonanzprüfsystem zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung und Spannungsprüfung

9 Laborausstattung

Hochspannungsprüfung

Wechselspannung $U_{\max} = 200 \text{ kV}$
Gleichspannung $U_{\max} = 140 \text{ kV}$
Stoßspannung $U_{\max} = 600 \text{ kV}$

Trennverstärker

Lichtwellenleiter-Isolier-Messsystem HERO® LINK LWL-DC-15 MHz für Messungen auf Mittelspannungspotential

Vor-Ort-Resonanzprüfsystem

Prüfspannung bis 36 kV, Prüfstrom bis 10 A
Frequenzbereich 25 - 300 Hz

Transienten-Mess-System für Impulsspannungsmessung

TR-AS 100/12, 100 Megasample pro s, 12 bit
TR-AS 100/8 100 Megasample pro s, 8 bit
umfangreiche Auswerte- und Protokollsoftware

Digitales Kapazitäts- und Verlustfaktormesssystem LDV-6

Auflösung $\tan \delta$ bis 10^{-8}
Messbereich Kapazität 0,1 pF - 5 μF
Frequenzbereich 5 Hz - 50 kHz

Digitales Teilentladungsmess- und Diagnosesystem LDS-6

TE-Messbereich 1 - 10^5 pC
obere Grenzfrequenz 30 MHz

TE-Fehlstellenortung

Abtastrate bis 250 Megasample pro s
Ortungsgenauigkeit bis 0,1% der Kabellänge

Kabeldiagnosesystem CDS

dreiphasige IRC-Analyse an PE- und VPE-Kabeln
dreiphasige RVM-Analyse an Papier-Masse-Kabeln

Transportables Hochspannungsnetzgerät 6,5 kV/ 0,02A für Kabelmantelprüfung

Repetitionsstoßgenerator RSG 500

Blitzspannungsprüfeinrichtung SIP 010, transportabel

Wechselspannung bis 5 kV
Stoßspannung 1,2/50 μs bis 10 kV

Spannungsmessteiler

Ohmsche Teiler bis 200 kV
Kapazitive Teiler bis 300 kV
Stoßspannungsteiler bis 600 kV (1,2/50 μs)

Mikrotom - Schneidgerät für Untersuchung von Wasserbäumchen (water trees) an PE-Kabeln

Transienten Recorder

8-Kanal Scope Corder DL 708 (YOKOGAWA)

Abtastrate bis 10 Megasample pro s

Auflösung: 10 bit

Datenlogger DA 100 (YOKOGAWA) mit 10 Kanälen

kürzestes Messintervall: 2 s

Speichertiefe: nur begrenzt durch Festplatte des Logger-PC

FemtoamperemeterLichtmikroskop mit Rechneranschluss und VideoeinrichtungMagnetfeldmesseinrichtung mit Rechneranschluss bis 10 kHzDosisleistungsmessgerät FH 40 G (Eberline Instruments)

Messgröße: Photonendosisleistung

Messbereich: 0,1 $\mu\text{Sv/h}$ - 0,99 Sv/h

Dosismessbereich: 100 nSv - 10 Sv

EM-Feldanalysator EFA-2 (Wandel & Goltermann)

Frequenzbereich 1: 5 Hz ... 2 kHz

Frequenzbereich 2: 5 Hz ... 30 kHz

Messbereich: 100 nT, 1 μT , 10 μT , 100 μT , 1 mT, 10 mT

(automatische Messbereichswahl)

Strahlungsmessgerät EMR-20 (Wandel & Goltermann) für isotrope Messung elektrischer Felder

Frequenzbereich: 100 kHz ... 3 GHz

Messprinzip: digitale dreiachsige Messung

Spezifizierter Messbereich: 1 ... 800 V/m

Anzeigeauflösung: 0,01 V/m

Hochstromaggregat ODEN

1000A/ 2,5V TAP 2,5 (Wandlerprüfung)

Gleichspannungsnetzgerät

40V/ 100A

Software

ATP/EMTP

Simulation dynamischer und transientscher Netzvorgänge der Energieversorgung

EMTDC/PSCAD

Simulation dynamischer und transientscher Netzvorgänge mit leistungselektronischen Betriebsmitteln in Elektroenergiesystemen

CSM 53

Feldberechnung von Isolieranordnungen mit Ein- und Zweistoffsystem

Elektra 3.96.0.0

Stationäre Berechnung und Simulation von Lastflüssen und Kurzschlüssen in elektrischen Netzen

FlexPro 8

Konvertierung, Bearbeitung und Analyse von Messwertdatensätzen

Labview 8

Programmieren, Steuern und Simulieren von elektrischen Geräten (Messgeräte, elektronische Lasten, Stromversorgungen u.a.)

VIG 2002, VIG 2003

Virtueller Impulsgenerator zur Simulation von Stoßspannungsimpulsen im Internet unter:

<http://vig-simulator.etit.tu-chemnitz.de/VIG2002/>

<http://vig-simulator.etit.tu-chemnitz.de/VIG2003/>

10 Dienstleistungen

10.1 Dielektrische Prüfungen

Wechselspannungsprüfungen bis 200 kV

Stoßspannungsprüfungen bis 600 kV

Gleichspannungsprüfungen bis 140 kV

FGH-Stufentest an Mittelspannungskabeln

Vor-Ort-Spannungsprüfungen an Mittelspannungskabeln und anderen kapazitiven Prüfobjekten mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

10.2 Diagnosemöglichkeiten

Verlustfaktormessung im Labor

Verlustfaktormessung Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

Teilentladungsmessungen im Labor

Verlustfaktormessung Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

Isotherme Relaxationsstrom-Analyse (IRC) an Energiekabeln

Messungen von Isolations- und Ableitwiderständen

Messungen kleiner Ströme (bis Femto-Ampere-Bereich)

10.3 Prüfung der Stromtragfähigkeit

Widerstandsmessungen von Hauptstrombahnen

Hochstromprüfungen, Erwärmungsprüfungen

- Leiteranordnungen
- Geräte
- Schaltfelder

bis 2000 A (größere Ströme auf Anfrage)

10.4 Spezielle Messaufgaben

Messung magnetischer Felder (5 Hz bis 30 kHz [3 dB]; MB: 100 nT, 1 μ T, 10 μ T, 100 μ T, 1 mT, 10 mT)

Messung elektrischer Felder (100 kHz bis 3 GHz; MB: 1 bis 800 V/m – 0,0027 bis 1700 W/m²)

Messung elektromagnetischer Felder

Messungen mit Isoliermessverstärkern

Berührungslose Bewegungsmessung (Laserdistanzmessung)

Mikroschnitte von PE-Kabeln zum Nachweis von Wasserbäumchen (water trees)

10.5 Virtueller Stoßspannungsgenerator

Zur Simulation des Einflusses der Elemente des Stoßkreises auf den Spannungsverlauf.

10.6 Netzanalysen

Lastfluss-, Lastgang- und Leitungsfehlerberechnung in Energieübertragungs- und Verteilnetzen

Netzverlustanalysen

Versorgungszuverlässigkeit

Netzoptimierung

11 Referenzen

Vor-Ort-Kabeldiagnose (TE-Messung, TE-Ortung, Spannungsprüfung, Verlustfaktormessung)

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG
- Stadtwerke Leipzig GmbH
- ENSO,
- enviaM

Netzanalyse, Versorgungszuverlässigkeit

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG
- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH

Betriebsmitteldatenbank

- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH

Netzverluste

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Prognosen zum Elektroenergiebedarf und Spitzenleistungen einzelner Umspannwerke

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Erstellung von Lastprofilen Strom/ Gas

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Bewertung von Investitionsstrategien in der Elektroenergieversorgung

- ENSO

Isolationsprüfung, Stufentest

- Kabelwerk Meißen

FGH-Stufentest an Mittelspannungskabeln

- Stadtwerke Rostock

Temperaturbeständigkeit von Isolieranordnungen

- Kabelwerk Meißen

Berechnung maximaler Leitungsbelastung

- SAG Montagegesellschaft mbH

Kurzschlussstromprüfung Schutzwiderstand

- Türk und Hillinger

TE-Messung im Labor

- VEM motors Thurm GmbH
- eviro Elektromaschinenbau & Metall GmbH Eibenstock

Dimensionierung Überspannungsschutz

- AREVA

Bewertung transients Ausgleichsvorgänge in Elektroenergiesystemen

- KEMA-IEV

- AREVA

Spannungsprüfung

- Elektrotechnische Geräte Böhlitz-Ehrenberg GmbH

Erstellung von Energiekonzepten zur Visualisierung der Auswirkungen von Potentialrealisierungen Erneuerbarer Energien in einem abgegrenzten Bilanzraum

- Landkreis Vogtland

Untersuchungen der Auswirkungen der Verarmung von Masse bei Öl-Papier-Kabel

- Netzgesellschaft mbH Chemnitz

Entwicklung von Speicherkonzepten im Bereich von 1 bis 10 MW

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

SIEMENS

eins
energie in sachsen



ALSTOM

ENERCON
ENERGIE FÜR DIE WELT



**HIGH
VOLT**



Teilgebiete		Elektrische Energietechnik			Hochspannungstechnik				
Inhalt		Regenerative Energiequellen	Energie-management	Elektroenergiesysteme	Beanspruchung von Betriebsmitteln	Überspannungen u. Isolationskoordination	Geräte- und Isoliertechnik		
Semester		Bachelor-Studiengang Elektrotechnik							
Modularisierte Bachelor-Master-Studiengänge Basismodul (Pflicht) Vertiefungsmodul (Pflicht, Wahlpflicht, Wahl) Ergänzungsmodul (Pflicht, Wahlpflicht, Wahl) 	3.	Elektrische Energietechnik 2 1 0							
	4.								
	5.						Hochspannungstechnik 3 1 2		
	6.	Elektroenergieübertragung und -verteilung 3 1 2			Netze und Betriebsmittel 2 1 0				
		Umwelt- und Ressourcenökonomik II 2 0 0		Bachelorarbeit					
			Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme						
	7.	Regenerative Energietechnik I 2 1 0		Beanspruchung von Betriebsmitteln 3 1 1					
		Elektroenergiewirtschaft 1 0 0							
	8.	Regenerative Energietechnik II 1 0 1		Statistik und Isolationskoordination 2 1 0					
		Netzberechnung und Schutztechnik 2 0 0				Diagnose- und Messtechnik 2 0 0			
9.	Praktikum								
10.	Masterarbeit								
		Forschungsschwerpunkte							
Analyse von Netzen und Betriebsmitteln Dezentrale Energiesysteme Netzbaustrategien	Zustandsbewertung und Asset-Management								
	Oberschwingungsverhalten regenerativer Erzeugungsanlagen / Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem								
	Netzanbindung leistungsstarker Windparks					Isolationskoordination			
	Netzintegration der Elektromobilität								
	Modellierung zukünftiger Niederspannungsnetze								
	Speichersysteme für eine nachhaltige Energieversorgung								
Probabilistische Netzplanung									
Anspruch:	Kompetenzzentrum für aktuelle Fragestellungen der Elektroenergieversorgung								

Anfahrtsskizze:



