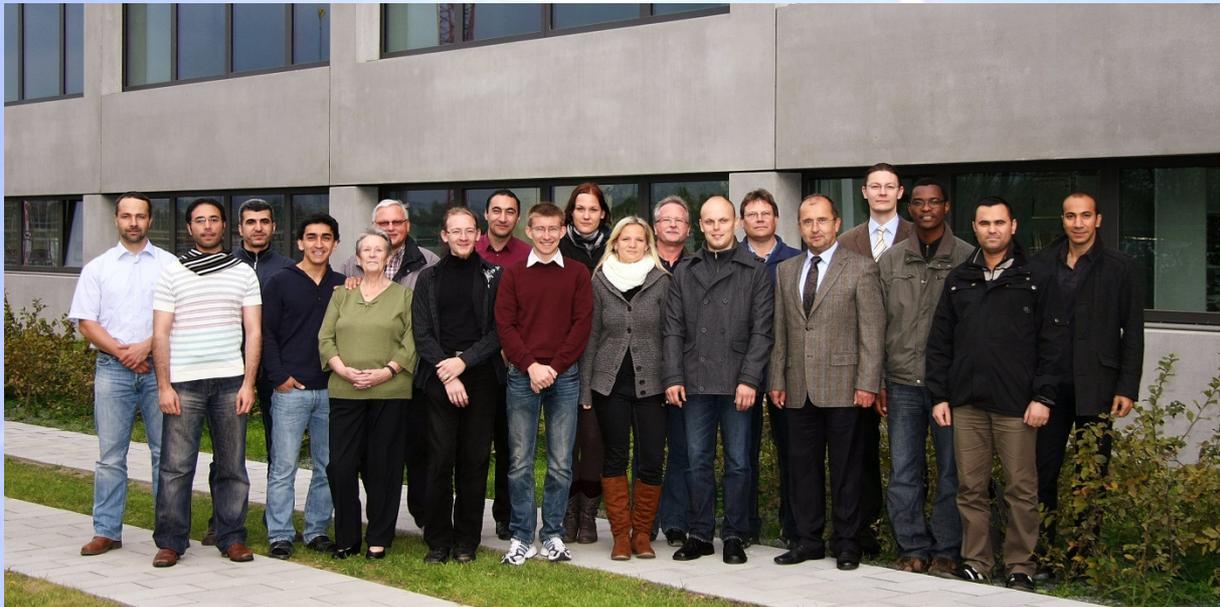


# Jahresbericht 2011

**Professur Energie- und Hochspannungstechnik**

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ



Adresse:

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

Dienstszitz:

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/>

Telefon, Fax, e-mail:

Name:	Telefon:	Fax:	e-mail:
Prof. W. Schufft	+49 371 531 33343	+49 371 531 833142	wolfgang.schufft@etit.tu-chemnitz.de
Prof. D. Amft	+49 371 531 33341	+49 371 531 833142	dietrich.amft@etit.tu-chemnitz.de
Sekretariat: A. Claussner	+49 371 531 33342	+49 371 531 833142	antje.claussner@etit.tu-chemnitz.de
Sekr. Nachw.-FG: K. Grünert	+49 371 531 38925	+49 371 531 838623	kerstin.gruenert@et.it.tu-chemnitz.de
M. Al-Maamoory	+49 371 531 37186	+49 371 531 800269	samir-sami-mahmood.al-maamoory@ etit.tu-chemnitz.de
D. Barsch	+49 371 531 36560	+49 371 531 800269	dietrich.barsch@etit.tu-chemnitz.de
Dr. T. Bocklisch	+49 371 531 32133	+49 371 531 800269	thilo.bocklisch@etit.tu-chemnitz.de
A. Götz	+49 371 531 37199	+49 371 531 800269	andreas.goetz@etit.tu-chemnitz.de
A. Gürlek	+49 371 531 39859	+49 371 531 800269	akif.guerlek@etit.tu-chemnitz.de
S. Hadid	+49 371 531 38579	+49 371 531 800269	suleiman.hadid@etit.tu-chemnitz.de
A. Hoshmeh	+49 371 531 37824	+49 371 531 800269	abdullah.hoshmeh@etit.tu-chemnitz.de
S. Krell	+49 371 531 38725	+49 371 531 800269	stefan.krell@et.it.tu-chemnitz.de
D. Kühnert	+49 371 531 39939	+49 371 531 800269	david.kuehnert@et.it.tu-chemnitz.de
J. Lippold	+49 371 531 33341	+49 371 531 800269	juergen.lippold@etit.tu-chemnitz.de
K. Malekian- Boroujeni	+49 371 531 37648	+49 371 531 800269	kaveh.malekian-boroujeni@ etit.tu-chemnitz.de
V. Majer	+49 371 531 38344	+49 371 531 800269	david.majer@ s2011.tu-chemnitz.de
M. Paulitschke	+49 371 531 39395	+49 371 531 800269	martin.paulitschke@et.it.tu-chemnitz.de
U. Schmidt	+49 371 531 36561	+49 371 531 800269	uwe.schmidt@etit.tu-chemnitz.de
A. Shirvani- Boroujeni	+49 371 531 37186	+49 371 531 800269	ali.shirvani-boroujeni@etit.tu-chemnitz.de
M. Stark	+49 371 531 33364	+49 371 531 800269	michael.stark@etit.tu-chemnitz.de
J. Teuscher	+49 371 531 37752	+49 371 531 800269	jens.teuscher@et.it.tu-chemnitz.de
A. Göhlich	+49 371 531 38344	+49 371 531 800269	anne.goehlich@et.it.tu-chemnitz.de

Redaktion: Uwe Schmidt

## Vorwort

Sehr geehrte Freunde und Partner,

das Jahr 2011 ist Geschichte. Es ist nun wieder Zeit zu berichten und zu resümieren. Wie in jedem Jahr halten Erfreuliches und weniger Erfreuliches einander die Waage.



Leider verharren die Einschreibungszahlen in unserem grundständigen Bachelor Studiengang Elektrotechnik auf einem niedrigen Niveau. Wegen der Abschaffung der Diplomstudiengänge an der TU Chemnitz konnten wir nicht vom Studentenboom des letzten Jahres profitieren. Erfreulich aber ist, dass sich immer mehr Studenten auf dem Gebiet der Elektrischen Energietechnik vertiefen möchten. So waren meine grundsätzlichen Vorlesungen Hochspannungstechnik und Energieübertragung und -verteilung noch nie so gut besucht wie in den letzten Jahren. In diesen Vorlesungen sitzen auch zunehmend mehr Wirtschaftsingenieure, die die Elektrische Energietechnik als attraktives Betätigungsfeld erkannt haben. Dieser Zulauf sorgt für eine ausreichende Zahl studentischer Arbeiten, mit denen wir unsere Promovenden unterstützen.

Der Personalbestand der Professur liegt weiter auf einem hohen Niveau. Erfolgreich konnten wir die Fördermöglichkeiten aus dem Programm „Hochschule und Forschung“ des Europäischen Sozialfonds und des Freistaates Sachsen nutzen. Dabei werden Mittel aus den Europäischen Sozialfonds (ESF) verwendet, um dem zu erwartendem Fachkräftemangel im Freistaat Sachsen entgegenzuwirken. So konnten wir zusammen mit der Verteilnetz Plauen GmbH und der ENSO Netz GmbH, Dresden zwei weitere Industriepromotionen auf die Reihe bringen. Mit der Industriepromotion, die seit 2009 von der eins energie in sachsen GmbH, Chemnitz gefördert wird, werden nun insgesamt drei Promovenden über Industriepromotionen finanziert. Zum Jahresende haben wir die Bewilligung zu einer weiteren ESF-Nachwuchsforschergruppe "fahrE - Konzepte für multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien" erhalten. In dieser und in der Nachwuchsforschergruppe „Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme“, die seit Juni 2010 existiert, arbeiten nun insgesamt vier Doktoranden der Professur. Damit wird das Drittmittelleinkommen des Jahres 2011 wieder deutlich über 300.000,- € liegen und dabei etwa dem Bundesdurchschnitt entsprechen. Dieses Ergebnis ist doch einigermaßen zufriedenstellend, wenn man bedenkt, dass es in Chemnitz keine ausstattungsstechnischen Alleinstellungsmerkmale, dabei aber eher gewisse Standortnachteile gibt.

Im August des vergangenen Jahres konnten die Mitarbeiter der Professur aus ihren Notquartieren in den rekonstruierten Teil des Weinholdbaus umziehen. Dieser Umzug hat uns zwar am Ende der Urlaubszeit in Anspruch genommen. Dafür haben sich unserer Arbeitsbedingungen wesentlich verbessert. Derzeit wird die der Reichenhainer Straße zugewandte Seite des Gebäudes rekonstruiert, so dass wir noch eine Baustelle vor der Tür haben. Mit der kompletten Rekonstruktion des Weinholdbaus in etwa anderthalb Jahren wird die Rekonstruktion des Universitätscampus abgeschlossen sein.



Im Verlaufe des vergangenen Jahres haben wir das Vorhaben fortgeführt, die wissenschaftlichen Aktivitäten der Professur unter dem Dach des Kompetenzzentrums für elektrische Energietechnik der *GWT Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer der TU Dresden mbH* zu bündeln, siehe <http://www.gwtonline.de/energie/ueber-uns/>. Wesentliche Aufgaben dieses Kompetenzzentrums für elektrische Energietechnik sind die Außendarstellung der fachlichen Kompetenzen der beteiligten Professuren sowie die Entwicklung von Förderprojekten. Die GWT ermöglicht gleichfalls ein flexibles Management personeller Ressourcen.

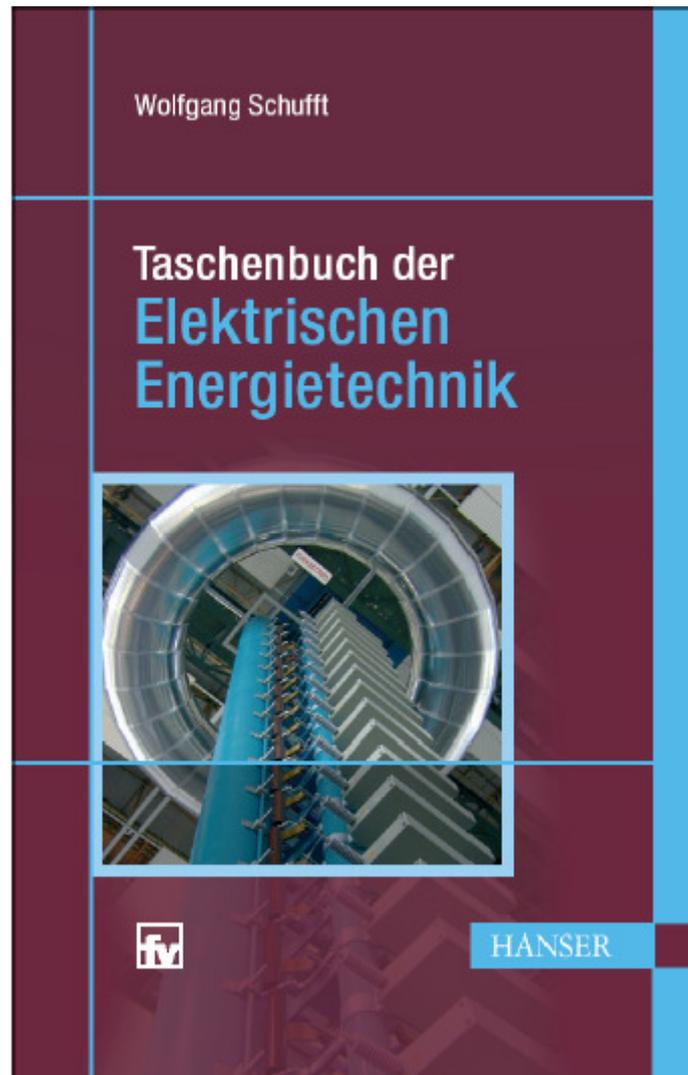
Zum Ende des Jahres haben wir Frau Angelika Wickleder, die seit dem Jahre 2000 als Sekretärin an der Professur gearbeitet hat, in den Ruhestand verabschiedet. Wir danken ihr für ihre unermüdliche Arbeit und für die herzliche Art des Umgangs mit manchem Säumigen. Seit Dezember hat nun Frau Antje Claußner diese Aufgabe übernommen, die wir in unserem Team begrüßen, auf dass sie sich bei uns wohlfühlen möge. Im Jahre 2011 konnten wir mit Herrn Akif Gürlek und Herrn David Kühnert zwei weitere Promovenden an der Professur begrüßen, denen wir gleichfalls Erfolg wünschen.

Wir sehen optimistisch in das kommende Jahr 2012, wünschen auch Ihnen viel Glück, Erfolg und persönliches Wohlergehen und freuen uns auf eine weitere, gute Zusammenarbeit.

Chemnitz, Dezember 2011

Ihr

A handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Wolfgang Schulz'. The signature is written in a cursive style and is positioned below the text 'Ihr'.



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. Elektroenergieanlagen-sicherheit (K.-H. Freytag, P. Schegner)
11. Elektroenergie-wirtschaft (N. Menke)

**Inhalt**

<b>Vorwort .....</b>	<b>3</b>
<b>Personelle Besetzung .....</b>	<b>7</b>
<b>Lehre 9</b>	
Abfolge der aktuellen Lehrfächer im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik und im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme.....	9
Beschreibung der Lehrfächer.....	9
<b>Forschungsschwerpunkte .....</b>	<b>13</b>
Überspannungen beim Schalten von Kompensationsdrosseln .....	18
Teilentladungsmessung an umrichter gespeisten Kleinmotoren .....	22
Verlustfaktor-Messung an PE/VPE- isolierten Mittelspannungskabel bei veränderlicher Frequenz .....	24
Frequenzabhängige Modellierung von Kabeln für Simulation elektromagnetischer transienter Vorgänge .....	26
Belastbarkeit von Niederspannungsnetzen hinsichtlich zukünftiger Verbraucher- und Einspeiserstrukturen .....	32
Umfassende Analyse der Einspeisecharakteristik von Photovoltaik und Windenergie in der Mittelspannungsebene .....	38
<b>Dissertationen, studentische Arbeiten .....</b>	<b>43</b>
Aktuelle Dissertationsprojekte.....	51
<b>Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge.....</b>	<b>52</b>
<b>Externe Aktivitäten und Kontakte .....</b>	<b>53</b>
Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien.....	53
Gäste an der Professur .....	54
<b>Höhepunkte .....</b>	<b>56</b>
<b>Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik.....</b>	<b>61</b>
Laborausstattung .....	64
Software .....	66
<b>Dienstleistungen .....</b>	<b>67</b>
Dielektrische Prüfungen .....	67
Diagnose .....	67
Prüfung der Stromtragfähigkeit .....	67
Spezielle Messaufgaben .....	67
Virtueller Stoßspannungsgenerator .....	68
Netzanalysen .....	68
<b>Referenzen.....</b>	<b>69</b>

## Personelle Besetzung



M.Sc. Samer Samir  
Mahmood Al-Maamoory,  
DAAD-Stipendiat



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



Dipl.-Ing. (FH) Dietrich Barsch



Dr.-Ing. Thilo Bocklisch



B.A. Antje Claussner,  
Sekretariat



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



M. Sc. Anne Göhlich,  
Industriepromovend



Dipl.-Ing. Andreas Götz,  
Industriepromovend



Dipl.-Ing. Akif Gürlek  
Industriepromovend



Kerstin Grünert,  
Sekr. Nachwuchsforschergruppe



M.Sc. Suleiman Hadid



B.Sc. Abdullah Hoshmeh,  
Stipendiat



Dipl.-Ing. Stefan Krell,



Dipl.-Ing. David Kühnert,  
Promovend der Forschergruppe



Jürgen Lippold,  
Technischer Angestellter



M .Sc. Kaveh Malekian-Boroujeni



Ing. Viktor Majer,  
Erasmus-Stipendiat



M. Sc. Alvaro Mateus Massunda,  
Stipendiat, bis 11/11



Prof. Dr.-Ing. Norbert Menke,  
Clean Energy GmbH, Giebelstadt,  
Lehrbeauftragter



Dipl.-Ing. Martin Paulitschke,  
seit 12/10



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



Prof. Dr. rer. nat. habil.  
Udo Rindelhardt,  
Lehrbeauftragter



Dipl.-Ing. Uwe Schmidt



Tobias Schnelle,  
RWE-Stipendiat 2008



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



M.Sc. Ali Shirvani-Boroujeni,  
DAAD-Stipendiat



Michael Stark,  
Technischer Angestellter



Dipl.-Ing. Jens Teuscher



Angelika Wickleder  
bis 11/11

## Lehre

### Abfolge der aktuellen Lehrfächer im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik und im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme

Lehrfach	Verantwortlicher	Bachelor Elektrotechnik				Master Energie- u. Autom.-syst.	
		3. Sem.	4. Sem.	5. Sem.	6. Sem.	7. Sem.	8. Sem.
<i>Basismodule:</i>							
Elektrische Energietechnik	Schufft, Werner, Lutz	2 1 0*					
Hochspannungstechnik	Schufft			3 1 2			
Elektroenergieübertr. u. -vert.	Schufft				3 1 2		
<i>Vertiefungsmodule:</i>							
Netze und Betriebsmittel	Schufft				2 1 0		
Beanspruch. v. Betriebsmitteln	Schufft					3 1 1	
Regenerative Energietechnik I	Rindelhardt					2 1 0	
Regenerative Energietechnik II	Rindelhardt						2 0 1
Statistik u. Isolationskoordination	Schufft						2 1 0
<i>Ergänzungsmodule:</i>							
Umwelt- u. Ressourcenökonomie	n.n.				1 0 0		
Elektroenergiewirtschaft	Menke					1 0 0	
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.

## 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 Grundschaltungen

### **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

### **Schutztechnik**

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

## Forschungsschwerpunkte

Die Schwerpunkte in der Forschung orientieren sich an den Anforderungen der Übertragungs- und Verteilnetz-Betreiber sowie der Industrie auf dem deutschen und dem internationalen Markt. Entwicklungen mit hohem wissenschaftlichem Potenzial 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. Zu den nachfolgenden Forschungsschwerpunkten werden entsprechende Kurzfassungen von aktuellen Arbeiten vorgestellt.

### Netzanbindung leistungsstarker Windparks

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

### Dezentrale Erzeuger-, Speicher- und Verbrauchersysteme

- Belastbarkeit von Niederspannungsnetzen hinsichtlich zukünftiger Verbraucher- und Einspeiserstrukturen
- Auswirkungen der Elektromobilität auf das zukünftige Elektroenergie-Versorgungssystem

### Zustandsbewertung von Betriebsmitteln

- Durchführung diagnostischer Labor-Untersuchungen an Mittelspannungskabeln
- Durchführung des FGH-Stufentest bis zu einer Spannung von 150 kV
- Materialuntersuchungen an der Isolierung von Mittelspannungskabeln
- Vor-Ort-Untersuchungen mit einem mobilen Diagnose- und Messsystem

### Ausgleichsvorgänge in Elektroenergiesystem

- Transiente Ausgleichsvorgänge auf langen Kabelstrecken in der Hoch- und Höchstspannungsebene
- Untersuchungen zur Ausbreitung von Blitzströmen im Hoch- und Höchstspannungsnetz unter Berücksichtigung der frequenzabhängigen Parameter der Betriebsmittel
- Berechnung von Überspannungen bei Schalt- und Fehlervorgängen im Mittelspannungs- und Hochspannungsnetz
- Isolationskoordination in ausgedehnten Industrieanlagen

### Brennstoffzellen-Hybridsysteme:

- experimentelle Untersuchung, Modellierung und Simulation von Brennstoffzellen, Wasserstoffspeichern und Elektrolyseanlagen
- optimale Auslegung von Energieversorgungssystemen mit Wasserstoff-Speicherpfad
- Verfahren zur optimalen Regelung und Energiemanagement von Energieversorgungssystemen mit Wasserstoff-Speicherpfad
- Konzepte und Verfahren für Hybridsysteme mit Batterie- und Wasserstoff-Speicherpfad zum Ausgleich dynamischer Erzeuger- und Verbraucherschwankungen im Kurz- und Langzeitbereich



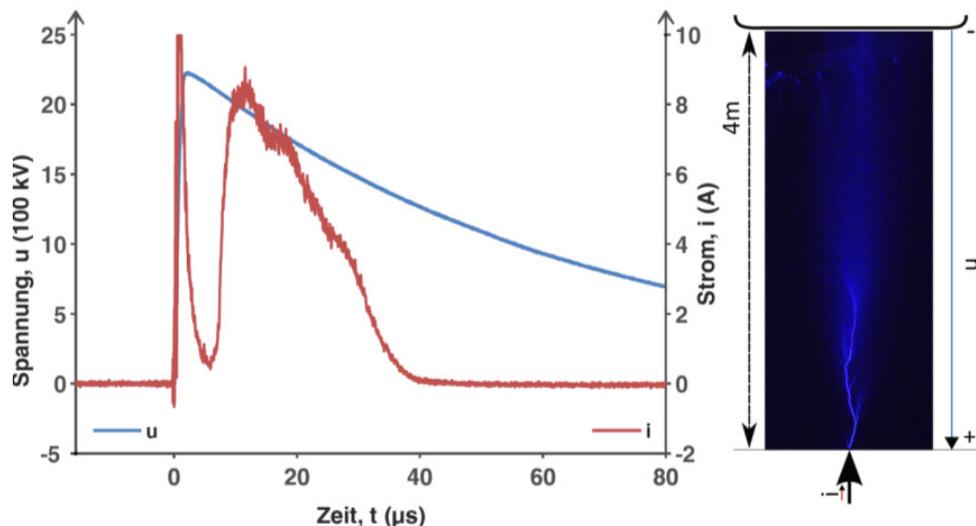
## Untersuchung des Durchschlagsverhaltens von Spitze-Platte-Elektrodenanordnungen mit großen Schlagweiten bei Blitzstoßspannungen

Ali Shirvani-Boroujeni

Nach dem Einschlag eines Blitzes in die Erdseile einer Hochspannungs-Freileitung ist ein rückwertiger Überschlag vom Mast der Freileitung zu einem Leiterseil über den Isolator möglich. Da dem rückwertigen Überschlag eine Überspannungswanderwelle nachfolgt, die in eine angeschlossene Anlage laufen kann, ist das Risiko des Ausfalls installierter Einrichtungen nicht auszuschließen.

Zum besseren Verständnis des zeit- und spannungsabhängigen Verhaltens des rückwärtigen Überschlages ist eine grundsätzliche Untersuchung mit Stoßspannungen an realen Anordnungen nötig. Obwohl die realen Anordnungen Spitze-Spitze-Elektrodenanordnungen umfassen, wie sie Kontrollfunkenstrecken über Langstab- oder Glaskappenisolatoren darstellen, ist es sinnvoll, zur Trennung von Vorentladungen unterschiedlicher Polaritäten Spitze-Platte-Elektrodenanordnungen zu verwenden. Eine grundsätzliche Laboruntersuchung wird hierdurch ermöglicht

Die sehr schnellen im Durchschlagprozess wirksamen Vorentladungsarten konnten bisher nur mit



**Abbildung 1:** Gemessene Elektrodenspannung und -strom einer Spitze-Platte Elektrodenanordnung. Die Kameraaufnahme zeigt den Leader- und Streamerbereich des Entladungsraumes  
Schlagweite: 4 m  
Scheitelwert der Blitzstoßspannung: 2.2 MV

starken Vereinfachungen betrachtet werden. Diese stellen sehr hohe Anforderungen an das Messsystem. Genauere Untersuchungen des Durchschlagprozesses bei Blitzstoßspannung sind heute bei verbesserter und moderner Messtechnik möglich.

Das Verhalten der Entladungen vor dem Durchschlag wurde im Rahmen dieser Forschungsarbeit erfasst und analysiert. Dabei handelte es sich um die Messung des Elektrodenstromes der Vorentladungen im Nanosekundenbereich bis zu einer Grenzfrequenz von ca. 30 MHz. Auf Grund geringer Stromscheitelwerte der Vorentladungsimpulse im Vergleich zum Durchschlagstrom und den daraus

resultierenden hohen Spannungen, wurden geeignete Schutzmaßnahmen für die Messeinrichtungen entwickelt.

Nach Realisierung des Versuchsaufbaus wurden zahlreiche Messungen bei variablen Schlagweiten bis zu 4 m und Blitzstoßspannungen bis zu 2,4 MV in der Hochspannungshalle der TU Dresden durchgeführt.

Die Ergebnisse wiesen auf unterschiedliche Durchschlagprozesse bei variablen Schlagweiten hin, auf deren vertiefende Erklärung an dieser Stelle verzichtet wird. Unter Anderem konnte jedoch, im Gegensatz der zur Verfügung stehenden Erkenntnisse des Durchschlagprozesses, das Auftreten der Leaderentladung bei Schlagweiten über 1 m auch bei Blitzstoßspannungen nachgewiesen werden. Abbildung 1 zeigt die Elektrodenspannung und den Strom sowie eine gleichzeitige aufgenommene Photographie, bei der der stark beleuchtete Kanal der Raum sichtbar wird. Dabei treten Leaderentladungen auf, gleichzeitig werden Streamerentladungen sichtbar. Das Gebiet der Streamerentladungen lässt sich an dem schwach bläulichen Licht im Entladungsraum erkennen. Eine genaue physikalische Erklärung dieser Prozesse setzen weitere Untersuchungen bei Blitzstoßspannungen voraus.



## Messungen und Analyse des Oberschwingungsverhaltens von Windparks am Netzanschlusspunkt

Kaveh Malekian

Um allgemeingültige Zusammenhänge zwischen dem Oberschwingungspegeln am Netzanschluss des Windparks und dem Verhalten der Windenergieanlagen (WEA) zu erhalten, wurden umfangreiche Messungen in einem 20-MW-Windpark durchgeführt (siehe Abbildung 1). Der Spannungsverzerrung an Netzanschlusspunkten von Windparks ist neben den Oberschwingungspegeln des Hochspannungsnetzes von verschiedenen Faktoren wie der Windgeschwindigkeit, der Uhrzeit, der Topologie des Windparks und dem Typ der WEA abhängig. Eine Zuordnung aller sich überlagernden Oberschwingungen der Netzfrequenz zu einem resultierenden Pegel ist nur über die Kenntnis der einzelnen Oberschwingungsbestandteile möglich. Dabei kann den Elementen des Netzes ein passives und aktives Verhalten zugeordnet werden. Die passiven Komponenten des Netzes sind durch Impedanzen  $Z(j\omega)$  festgelegt, die durch die elektrischen Parameter definiert sind. Der beeinflusste Strom am Netzanschlusspunkt verändert sich proportional zum Pegel der Spannungsüberschwingung. Der Bestandteil des Oberschwingungsstromes über die Impedanzen  $Z(j\omega)$  des passiven Netzes ist von der Windgeschwindigkeit und damit von der Leistung des Windparks unabhängig.

Diese Oberschwingungsströme sind jedoch direkt vom Oberschwingungspegel des vorgelagerten Netzes abhängig. Die wesentlichen passiven Netzkomponenten sind das Windparknetz und eventuell installierte Filter der Windenergieanlagen.

Zum Windparknetz werden der Transformator am Netzanschlusspunkt (im Umspannwerk) und das damit verbundene Kabelnetz gezählt. Während das Windparknetz sich im unteren Frequenzbereich z.B. 50 Hz kapazitiv verhält, verhält es sich bei höheren Frequenzen induktiv.

Die erste Resonanzstelle der Impedanz-Frequenzgang-Kennlinie charakterisiert den Übergang vom kapazitiven in den induktiven Bereich. Die erste Eigenfrequenz  $f_e$  des Windparks kann bei größerer Netzausdehnung und damit bei großen Kabelkapazitäten in Frequenzbereiche kleiner 500 Hz fallen. Abbildung 2 zeigt die gemessenen Oberschwingungspegel am Verknüpfungspunkt der Windenergieanlagen des 30-kV-Netzes (Messpunkt 1 im UW) eines leerlaufenden Windpark-Teilnetzes (eine Kabellänge von ca. 3,6 km) mit einer Eigenfrequenz  $f_e$  von 1,8 kHz. Die gemessenen Oberschwingungen sind auf die Nennwerte der Grundschwingung bezogen. Zur Verbesserung des Oberschwingungsverhaltens des Umrichters der Windenergieanlage wird gegebenenfalls ein passiver Filter installiert. Der gesamte Filterstrom aller Windenergieanlagen eines Windparks am Netzanschlusspunkt kann sogar in den Größenordnungen des Ladestromes des Windparks-Kabelnetzes liegen.

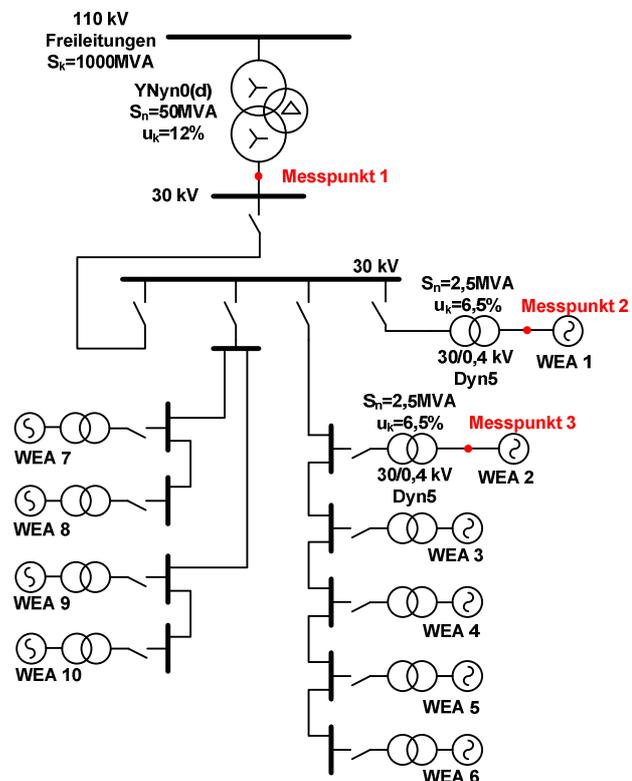
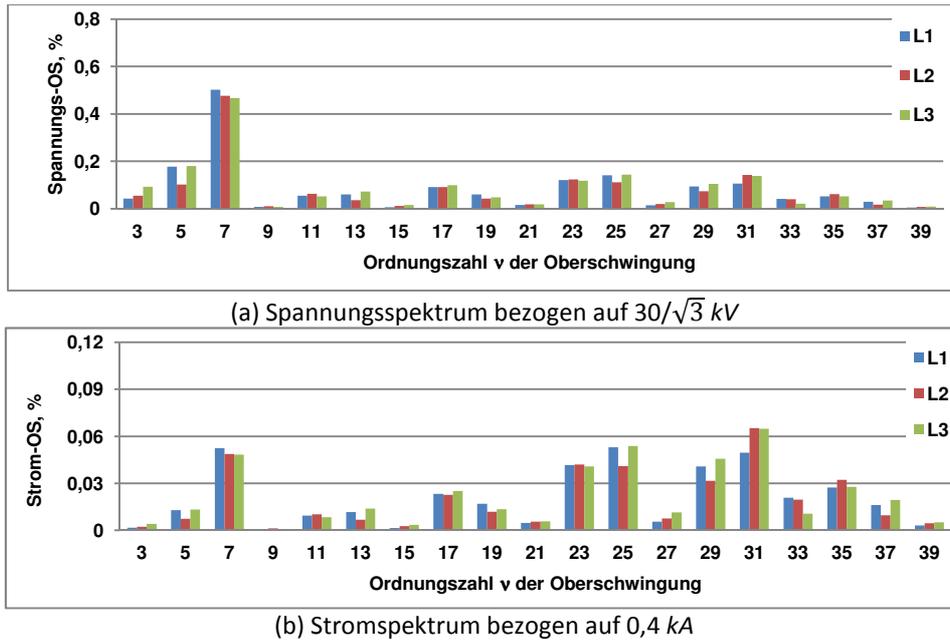


Abbildung 1: Netzaufbau des 20-MW-Windparks.



**Abbildung 2: Gemessene Oberschwingungen am Mittelspannungsnetz (am Messpunkt 1) am leerlaufenden Teilnetz.**

Leistungselektronische Komponenten wie Umrichter, FACTS oder aktive Filter werden als aktive Netzkomponenten bezeichnet. Oberschwingungsströme aus diesen Komponenten sind weitestgehend unabhängig vom Oberschwingungspegel des vorgelagerten Netzes. Nachfolgend werden ausschließlich Oberschwingungsströme analysiert, die von Umrichter erzeugt werden.

Vom Umrichter emittierte Oberschwingungen sind schwierig zu analysieren. Sie sind leistungsabhängig und in der Regel auch stark unsymmetrisch. Aufgrund der Sternpunktbehandlung der Transformatoren in den Windenergieanlagen (bzw. der MS-Dreieckswicklung werden Oberschwingungsströme des Nullsystems nicht in das vorgelagerte Netz übertragen.

Die Phasenlage der Oberschwingungsspannungen bezüglich der Spannungsgrundschwingung von 50 Hz ist abhängig von der Modulationsart des Umrichters. Prinzipiell sind Puls-Weiten-Modulation und Toleranzband-Modulation möglich.

Die Phasenwinkel der Oberschwingungen bezüglich der Nulldurchgänge der Spannungsgrundschwingung von 50 Hz können sich ständig ändern. Insbesondere bei hohen Ordnungszahlen der Oberschwingungen ist der Phasenwinkel eher stochastisch. Dieser Sachverhalt ist besonders wichtig, weil die Spannungsüberschwingungen am Verknüpfungspunkt der Windenergieanlagen durch alle daran angeschlossenen WEA bestimmt werden und sich gegebenenfalls auslösen können. Somit sinkt der Pegel der Oberschwingungsspannung am Verknüpfungspunkt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich die Oberschwingungsströme der einzelnen Windenergieanlagen am Netzanschlusspunkt nicht zwangsläufig in ihren Beträgen addieren, sondern eine teilweise Auslöschung möglich ist. Eine vereinfachte Skalierung oder eine quadratische Summation (gemäß BDEW Mittelspannungsrichtlinie [1]) der Pegel von Oberschwingungsströmen aller Windenergieanlagen ist nicht zulässig. Die durchgeführten Messungen belegen dies.

#### Verwendete Literatur

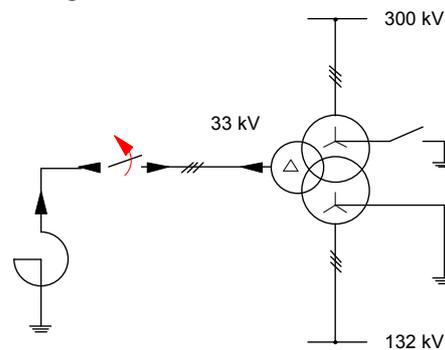
- [1] TECHNISCHE RICHTLINIE ERZEUGUNGSANLAGEN AM MITTELSPANNUNGSNETZ; BDEW; Juni2008.



## Überspannungen beim Schalten von Kompensationsdrosseln

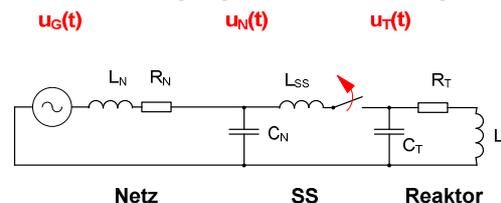
Uwe Schmidt

Schalthandlungen von Kompensationsdrosseln können zu Wiederzündungen der Leistungsschalter und in deren Folge zu Überspannungen über den eingesetzten Betriebsmittel führen. Innerhalb eines Drittmittelprojektes wurden Maximalwerte der Überspannungen bei relevanten Schalthandlungen bei variablen Längen der Anschlusskabel bestimmt. Der grundsätzliche Aufbau der untersuchten Anordnung ist in Abbildung 1 dargestellt



**Abbildung 1:** Prinzip des Anschlusses einer Kompensationsdrossel

Induktive Ströme in Größenordnungen bis zu einigen Hundert Ampere können in Abhängigkeit des Gradienten  $di/dt$  zu Überspannungen über dem Betriebsmittel Transformator bzw. Reaktor als auch über dem Leistungsschalter führen. Besonders große Steilheiten des Stromes sind bei einer intensiven Lichtbogenlöschung und insbesondere bei einem Stromabriss möglich. Eine einpolige Ersatzanordnung zur Beschreibung des Ausschaltvorganges ist in Abbildung 2 angegeben.



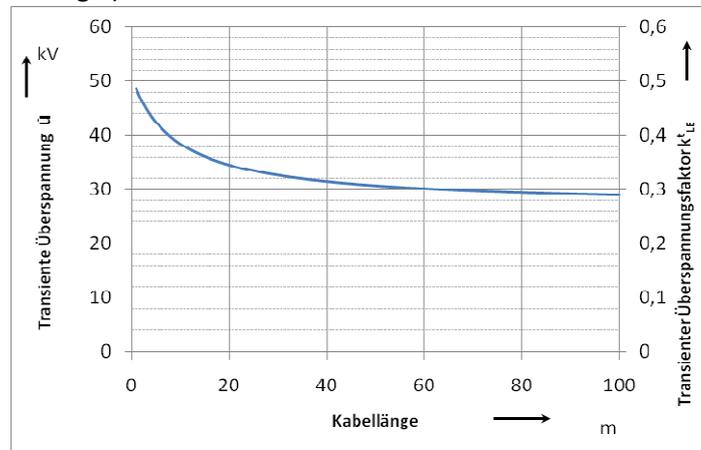
- $R_T, L_T, C_T$  - Parameter Reaktorseite
- $R_N, L_N, C_N$  - Parameter Netzseite
- $L_{SS}$  - Induktivität der Sammelschiene, der Zuleitung & des Lichtbogens

**Abbildung 2:** Einpolige Ersatzanordnung zur Beschreibung des Ausschaltvorganges

Bei der Unterbrechung des Stromes im natürlichen Nulldurchgang ist die gespeicherte Energie der Induktivität  $L_T$  Null. Die im Kondensator  $C_T$  gespeicherte Energie wird mit der Eigenfrequenz des Kreises:

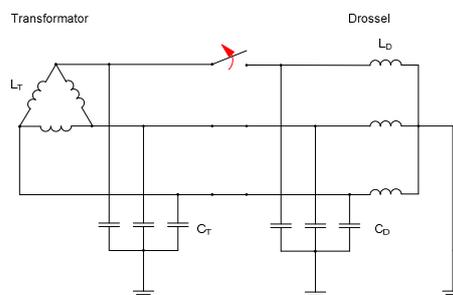
$$f_{eT} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_T \cdot C_T}} \quad (1)$$

gedämpft abklingen. Dieser Vorgang wird bei Kabelstrecke mit Längen > 50 m keine Überspannungen generieren (siehe Abbildung 3).



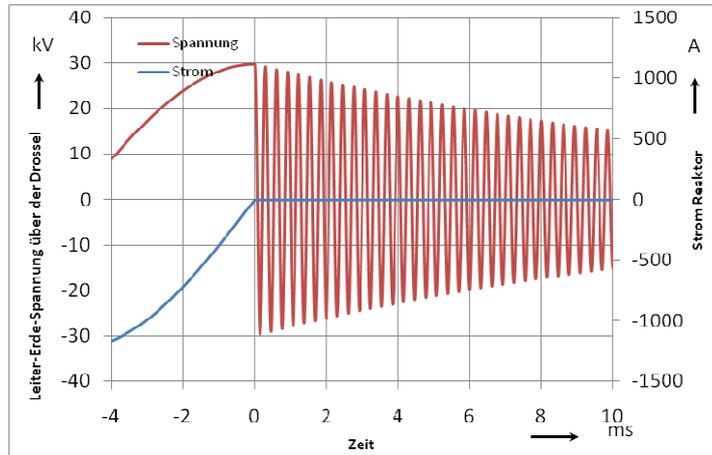
**Abbildung 3: Wert der Transienten Überspannung bei Ausschaltung des Reaktors ( $Q_n=45 \text{ Mvar}$ ) in Abhängigkeit der Kabellänge (Abrisstrom 7 A)**

Der transiente Überspannungsfaktor  $k_{LE}^t$  wird auf die Bemessungs-Kurzzeit-Wechselspannung des Reaktors bezogen, ein Wert >1 charakterisiert unzulässige Beanspruchungen. Die Unterbrechung des Stromes im erstlöschenden Pol führt zu einer Unsymmetrie im Kreis, die zu Ausgleichsvorgängen auf der transformatorzugewandten Seite und auf der Reaktorseite des Leistungsschalters führt. Über dem Leistungsschalter des erstlöschenden Poles wird dabei eine Einschwingspannung wirksam, die in Abhängigkeit der Parameter von L und C Einschwingspannungen mit hohen Amplituden und Steilheiten der Spannung generieren kann. In Abbildung 4 ist die prinzipielle Ersatzanordnung des Kreises angegeben.



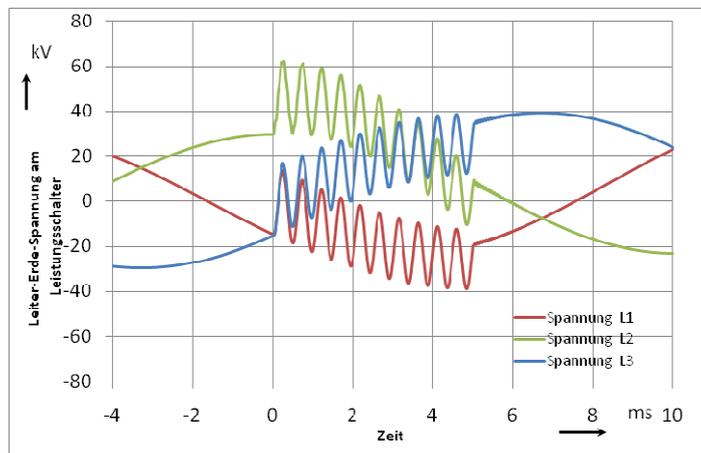
**Abbildung 4: Ersatzanordnung zur Beschreibung der Ausschaltung im dreiphasigen Drehstromsystem**

Die Ausgleichsvorgänge lassen sich auf Basis der symmetrischen Komponenten in eine einpolige Anordnung überführen, an der die Parameter der Einschwingspannung analytisch bestimmt werden können. In Abbildung 5 ist die berechnete Leiter-Erde-Spannung über dem Reaktor bei beidseitigen Kabellängen von jeweils 100 m und einem Abrisstrom von 0 A am erstlöschenden Pol angegeben. Die Frequenz des Ausgleichsvorganges beträgt ca. 3,3 kHz.



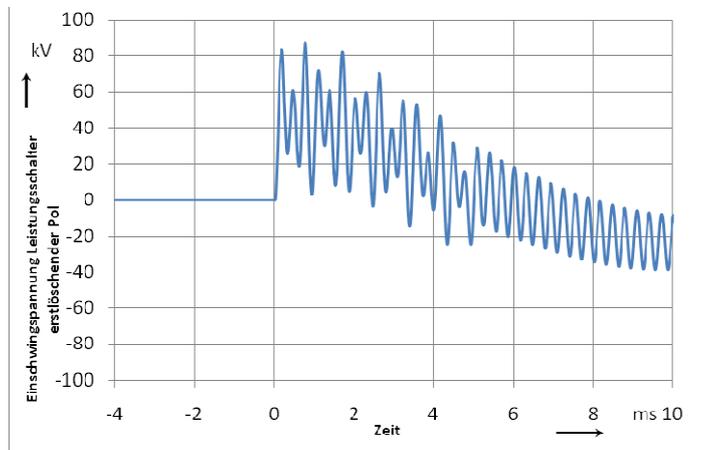
**Abbildung 5: Leiter-Erde-Spannung an den Klemmen des Leistungsschalters und über dem Reaktor**

In Abbildung 6 ist die transformatorseitige Spannung mit einer berechneten Frequenz von ca. 2 kHz abgebildet.



**Abbildung 6: Leiter-Erde-Spannung an den Klemmen des Leistungsschalters trafoseitig (Kabellänge 2x100 m; Abrissstrom 0 A)**

Über dem Leistungsschalter wird die in Abbildung 7 dargestellte resultierende Spannung wirksam (erstlöschender Pol).



**Abbildung 7: Einschwingspannung über dem Leistungsschalter des erstlöschenden Pols (L2)**

In Abhängigkeit der Steilheit der Spannung über den Kontakten des Leistungsschalters kann es zu Wiederezündungen der Schaltstrecke kommen, die zu hohen Überspannungen über der Drossel und den Betriebsmitteln der 33-kV-Anlage führen können. Die Minimalforderung der Wiederverfestigung des Leistungsschalters kann prinzipiell der IEC 62271:100:2001 entnommen werden.

Aus Untersuchungen lassen sich grundsätzliche Aussagen ableiten:

1. Die Abschaltung des Reaktors ohne Wiederezündungen erfolgt ohne Generierung kritischer Überspannungen. Überspannungsableiter sind auch bei Berücksichtigung von Abrissströmen bis einschließlich 7 A nicht notwendig.
2. Bei Abschaltung des Reaktors treten jeweils voneinander unabhängige Ausgleichsvorgänge im abgeschalteten Teilnetz (Reaktorseite) und im speisenden Netz (Transformatorseite) auf. Die Überlagerung der Ausgleichsvorgänge mit verschiedenen Frequenzen führt zu Einschwingspannungen über dem Leistungsschalter, die Wiederezündungen mit hohen Überspannungen über den Betriebsmitteln ermöglichen.
3. Die Installation von Überspannungsableitern verhindert nicht das Auftreten von Wiederezündungen. Diese werden von der Steilheit der Einschwingspannung über den Kontakten des Leistungsschalters verursacht.
4. Um die sichere Abschaltung zu gewährleisten, sind Zusatzmaßnahmen in Form zusätzlicher Kapazitäten sinnvoll. Die Installation von Kapazitäten auf der Reaktorseite verringert die Frequenz des Ausgleichsvorganges und damit die Steilheit der Einschwingspannung über den Klemmen des Leistungsschalters.

### **Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge**

**SCHMIDT, U., XU L., SCHUFFT W.;**

*Determination of the Breakdown Voltage of PE/PVC Materials for Application for the High-Voltage Cable Sheath;*

ISH 2011; Hannover

**SCHMIDT, U.;**

*Betriebsverhalten von Teilverkabelungen im Hochspannungsbereich;*

Forum Netzbau und Betrieb, 19. Fachtagung; Vortrag; Berlin, 2011

**SCHMIDT, U., MALEKIAN, K., SCHUFFT, W.;**

*Transients by switching of Filter Banks at High-Voltage Grid;*

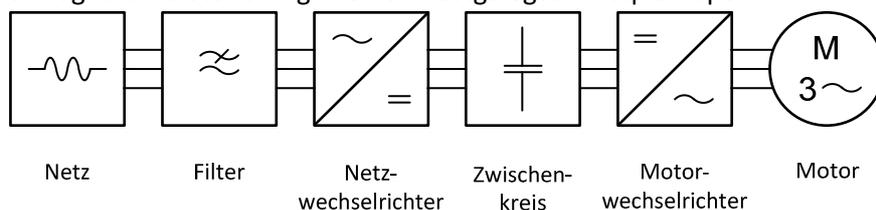
ISH 2011; Hannover



## Teilentladungsmessung an umrichter gespeisten Kleinmotoren

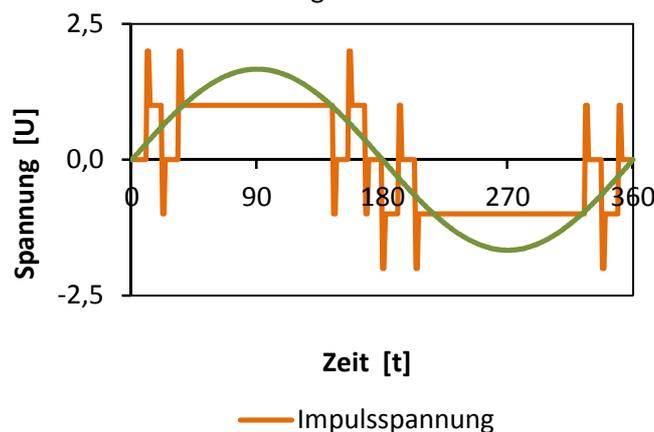
Dietrich Barsch

Moderne elektrische Antriebstechniken mit integrierten drehzahlgeregelten Antriebssystemen erzielen bedeutende Energieeinsparungspotenziale im Vergleich zu Antriebssystemen mit zusätzlichen mechanischen Kraftübertragungskomponenten. Die Steuerung von Motoren im Umrichterbetrieb (Abbildung 1) ermöglicht die Steuerung in einem festgelegten Frequenzspektrum.



**Abbildung 1: Prinzipdarstellung eines umrichtergespeisten Motors**

Umrichter stellen allerdings hinsichtlich ihrer Betriebscharakteristik hohe Anforderung an die elektrischen Isolierstoffsysteme der Motoren. Unkorrekt dimensionierte Isolierstoffsysteme oder defekte Isolierungen ermöglichen die Entstehung von Teilentladungen, die zur Schädigung der Motorwicklungen bis zum Totalausfall der Motoren führen kann. Zwei wesentliche lokale Bereiche sind zu betrachten, das Isolierverhalten im Bereich der Anschlussklemmen und die Isolierungen der Motorwicklungen. Zur Vermeidung von elektrischen Entladungen bzw. von Teilentladungen sollte der Anschlussbereich konstruktiv so gestaltet sein, dass er die Erfordernisse für die vom Umrichter gespeiste Wellenform der Spannungsimpulse (Abbildung 2), des Wellenwiderstandes vom Motor, des Erdungssystems und eventueller Filter berücksichtigt.



**Abbildung 2: Parallele Darstellung einer Wechselspannung mit der Impulsspannung eines Zweipunktumrichters**

Die Isolationsfestigkeit der Motorwicklungen, Stator- und Rotorwicklung, wird hauptsächlich bestimmt von der Isolierung

- zwischen den Außenleitern (Phasen),
- zwischen Außenleiter (Phase) und Erde,
- zwischen benachbarten Windungen.

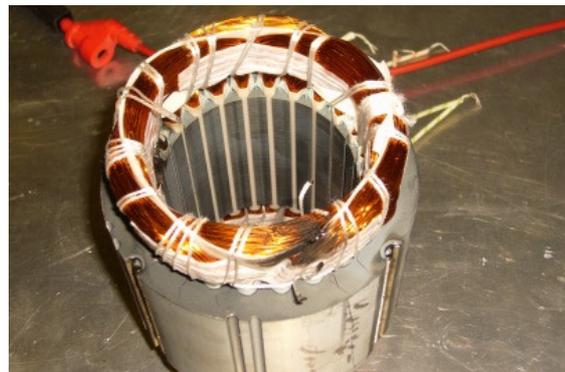
Die häufigsten Teilentladungs-Quellen entstehen durch blanke Stellen am Wickeldraht. Befinden sich diese Fehlstellen in den Drahtwindungen (Twiste) räumlich gegenüber oder sich in der Nähe des geerdeten Blechkerns, entstehen inhomogene Felder mit geringerer Durchschlagfestigkeit, die elektrische Ladungen (Teilentladungen) hervorrufen können. Kurzgeschlossene Spulenwindungen oder auch Lochfraßkorrosion der Drahtisolierung sind Auswirkungen davon. Zum Detektieren von Teilentladungsimpulsen in den steilen Impulsflanken der Spannung vom Umrichter muss die Teilentladungsmessung mit Impulsspannung stattfinden. Drei maßgebliche Prüfmethode finden Anwendung für die Teilentladungsmessung an umrichter gespeisten Motoren respektive Modellen von verdrehten Doppelleitern, Motoretten (Träufelwicklungen) als auch Formetten (Wicklungen mit vorgeformten Elementen) hinsichtlich der Wellenform und Anstiegszeit der Prüfspannung.

- Messung der Teilentladungs-Einsatzspannung (engl.: partial discharge inception voltage – PDIV) mit sinusförmige Wellenform 50/60 Hz und einem Teilentladungs-Pegel > 5pC [1].
- Messung der periodischen Teilentladungs-Einsatzspannung (engl.: repetitive partial discharge inception voltage – RPDIV) mit Impulsspannung [1].
- Messung der Teilentladungs-Löschspannung (en: partial discharge extinction voltage – PDEV) mit sinusförmiger Wellenform 50/60 Hz und mit Impulsspannung.

Im Zusammenhang mit Auftragsprüfungen an Statorn von Kleinmotoren konnten bisher substantielle Resultate hinsichtlich der Eigenschaften des Wickeldrahtes verschiedener Hersteller, Beschaffenheit von Wicklungsprägnierungen, Einflüsse der Wickeltechniken im Fertigungsprozessablauf und verwendeter Isolierungen erzielt werden. Alle Teilentladungsmessungen erfolgen in einer speziellen EMV-Messkabine. Eine Fehlstelle am Wickeldraht in einer Phasenwicklung, die durch unsachgemäße Behandlung im Fertigungsprozess hervorgerufen wurde, zeigt Abbildung 3. In Kombination mit einer weiteren Fehlstelle treten Teilentladungen auf, die spannungs-, temperatur- und zeitabhängig bis zum Durchschlag führen können (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Durchschlag zwischen den Wickeldrähten



**Durchschlag zwischen den Wicklungen**

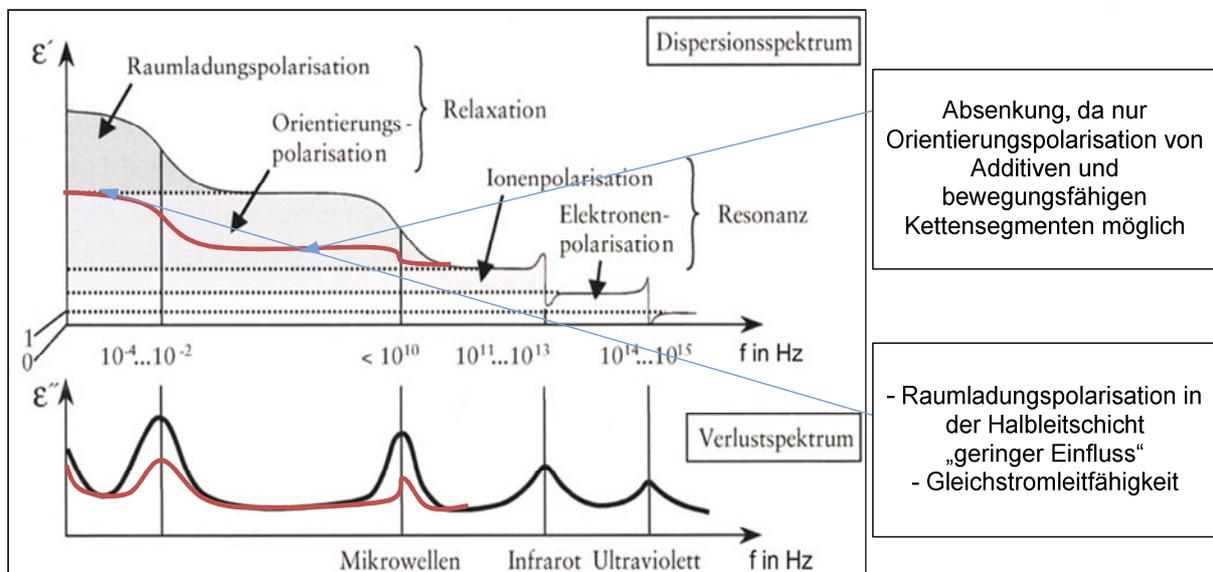


## Verlustfaktor-Messung an PE/VPE- isolierten Mittelspannungskabel bei veränderlicher Frequenz

Suleiman Hadid

Für Energieversorger ist die Kenntnis über den Alterungszustand der Mittelspannungs-Kabelnetze für zukünftige Investitionen von relevanter Bedeutung. Eine Möglichkeit zur Beurteilung des integralen Alterungszustands von Mittelspannungs-Kabelsystemen ist die Messung und Bewertung des Verlustfaktors über einen weiten Frequenzbereich.

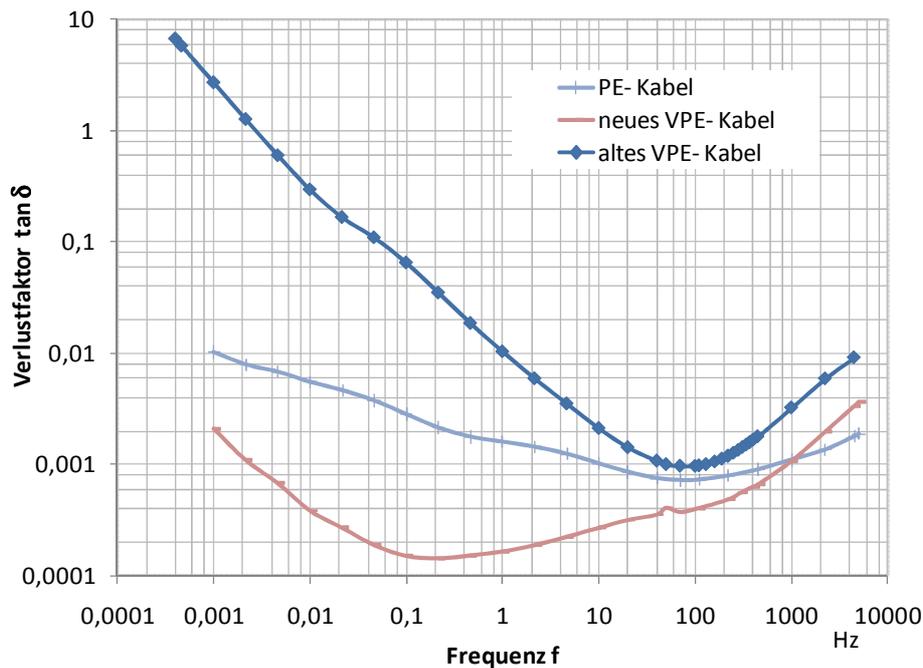
Um genaue Aussagen über den Zustand des Kabels zu erhalten, müssen alle relevanten Polarisationserscheinungen und Raumladungs- bzw. Grenzflächenladungsphänomene erfasst werden. Der Verlauf des Verlustfaktors über der Frequenz ist abhängig von den unterschiedlichen Polarisationsarten. Dabei können in einem Medium unterschiedliche Polarisationsarten nebeneinander auftreten und sich dementsprechend überlagern. (Abbildung 1)



**Abbildung 1: Prinzipieller Verlauf des Verlustfaktors und der Dielektrizitätszahl über der Frequenz PE/VPE- isolierten Mittelspannungskabel (H. Batzer, Polymere Werkstoffe)**

Um die Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors korrekt abzubilden und somit alle Polarisationserscheinungen und Raumladungs- bzw. Grenzflächenladungsphänomene zu erfassen, ist ein erweitertes Ersatzschaltbild notwendig. In dem erweiterten Ersatzschaltbild wird für jede Polarisationsart ein frequenzabhängiges Ersatzelement mit unterschiedlicher Zeitkonstante gebildet.

Bei diesem Ersatzschaltbild wird nicht nur das dielektrische Verhalten im Dielektrikum nachgebildet, sondern auch die Effekte in der Leitschicht werden berücksichtigt. Der Widerstand  $R_{Leitfähig}$  steht für die Leitverluste, welche bei sehr niedrigen Frequenzen, auf Grund der Gleichstromleitfähigkeit, auftreten. Die Kapazität  $C_0$  steht für die geometrische Kapazität. In der Vergangenheit wurde die Verlustfaktor-Messung entweder mit Netzfrequenz oder bei einem anderen festen Frequenzwert durchgeführt. In einem erweiterten Messverfahren wurden mit freundlicher Unterstützung der Firma Omicron GmbH Messungen des Verlustfaktors vorgenommen, die einen Frequenzbereich von 50  $\mu$ Hz bis 50 kHz umfassen. Als Prüflinge wurden PE/VPE-isolierte 20-kV-Mittelspannungskabel unterschiedlichen Alters untersucht.



**Abbildung 3: Ergebnisse von Messungen des Verlustfaktors an verschiedenen 20-kV-Kabeln**

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, unterscheiden sich die Verlustfaktoren der einzelnen Kabel. Die niedrigsten Verlustfaktoren besitzt das neue VPE-Kabel, einen etwas erhöhten Verlustfaktor zeigt das betriebsgealterte Kabel. Dabei liegt der Verlustfaktor des betriebsgealterten VPE-Kabels über dem betriebsgealterten PE-Kabeln. Vernetztes Polyethylen neigt zu einer erhöhten Wasseraufnahme und Gasabsorption. Da dies ein Teil des Alterungsprozesses ist, wirkt es sich auf den Verlustfaktor aus. Im unteren Frequenzbereich ist ein erhöhter Verlustfaktors wirksam. Dies ist auf den zunehmenden Einfluss der Gleichstromleitfähigkeit zurück zu führen.

Bei den technisch relevanten Betriebsfrequenzen der elektrischen Energietechnik, welche hauptsächlich 50 Hz beträgt, sind Elektronenpolarisation und Gitterpolarisation ohne Bedeutung. Die Orientierungspolarisation tritt aufgrund des sehr schwach polaren Charakters des PE/VPE Isoliermaterials nur bei Zusatzstoffen und schwingungsfähigen Kettenenden auf. Mittelspannungskabel durchlaufen eine altersbedingte Veränderung des Verlustfaktors. Ursachen sind die Aufnahme von Feuchtigkeit, die dadurch bedingte Entstehung von water trees, aber auch die chemische und die thermische Alterung der Hauptisolierung sowie die Eigenschaft der inneren und äußeren Leitschicht.

Durch eine Bewertung des Verlaufes des Verlustfaktors ist es möglich, eine Aussage über den Alterungszustand eines Kabels zu treffen. Die Messung des Verlustfaktors über einen weiten Frequenzbereich kann eine neue Methoden für die Diagnose an PE/VPE- isolierten Mittelspannungskabeln sein.

Im Rahmen weitergehender Untersuchungen soll das Potenzial der Messung des Verlustfaktors über einen großen Frequenzbereich ermittelt werden, um die einzelnen Einflussfaktoren bewerten zu können.



## Frequenzabhängige Modellierung von Kabeln für Simulation elektromagnetischer transienter Vorgänge

Abdullah Hoshmeh

Transiente Überspannungen im Elektroenergiesystem mit höheren Frequenzen werden hauptsächlich durch Schalthandlungen, auftretende Fehler und Blitzeinschläge verursacht. Eine präzise Modellierung der Netzelemente ist eine wichtige Voraussetzung für eine genaue Berechnung dieser Ausgleichvorgänge.

Freileitungen und Kabel sind ein wichtiger Bestandteil des Elektroenergiesystems. Modelle von Freileitungen für die Simulation transienter Vorgänge wurden ausreichend entwickelt. Modelle von Drehstrom-Kabelsystemen liegen jedoch in vergleichbarer Qualität nicht vor.

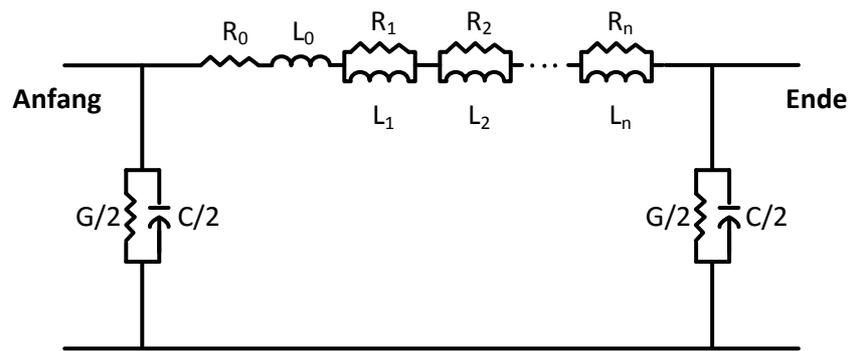
Kabelmodelle für die Simulation der elektromagnetischen transienten Vorgänge sind grundsätzlich in Modellen mit konzentrierten oder verteilten Parametern zu klassifizieren. In einem Modell mit konzentrierten Parametern wird das betrachtete Kabel durch  $n$  in Reihe geschaltete  $\pi$ -Glieder modelliert. Bei Betrachtung des transienten Frequenzbereichs, der Kabellänge und einer ausreichenden Anzahl der  $\pi$ -Glieder kann die verteilte Beschaffenheit der Kabelparameter entsprechend simuliert werden.

Durch ein Modell mit konzentrierten Parametern ist es möglich, die transienten Vorgänge unter Berücksichtigung nichtlinearer Komponenten, z.B. Korona-Effekte und Störlichtbögen, oder ein detailliertes Spannung- und Stromprofil zu simulieren. Diese Merkmale sind die wesentlichsten Vorteile für die Modellierung des Kabels durch ein Modell mit konzentrierten Parametern im Vergleich zu einem Modell mit verteilten Parametern. Ein weiteres Argument für die Verwendung von konzentrierten Elementen ist die Stabilität der mathematischen Operationen während der Simulation von Ausgleichsvorgängen.

Zustandsgleichungen zur Bewertung der Ströme und Spannungen entlang der Kabelstrecke werden häufig verwendet, wenn ein Modell mit konzentrierten Parametern angenommen wird. Auf diese Weise können die Simulationen direkt im Zeitbereich ohne die explizite Verwendung von Transformationen in den Bildbereich nachgebildet werden.

Bei der Simulation von Energieausgleichvorgängen auf einer Kabelstrecke ist die Frequenzabhängigkeit der Kabelparameter zu beachten, weil die Dämpfung der Ausgleichsvorgänge wesentlichen Einfluss auf den Verlauf von Strom und Spannung hat.

Die Frequenzabhängigkeit der Impedanz  $Z(\omega)$  kann durch eine rationale Funktion approximiert werden. Diese äquivalente Ersatzanordnung ist in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1:** Äquivalentersatzschaltbild für ein  $\pi$ -Glieder einer Kabelstrecke

Die Darstellung der rationalen Funktion erfolgt über das Vektor-Fitting-Verfahren. Der Vektor-Fitting-Algorithmus ist genau und robust und kann für Flach- und Resonanzfrequenzgang mit hohen Ordnungen und einem breiten Frequenzbereich verwendet werden.

Im Rahmen der Forschungsarbeit wird die Möglichkeit untersucht, das zeit- und ortabhängige Verhalten von Strom und Spannungen bei Ausgleichsvorgängen auf Drehstrom-Kabelsystemen über eine  $\pi$ -Ersatzanordnung abzubilden. Die frequenzabhängigen Impedanzen werden dabei über rationale Funktionen abgebildet.



## Optimale Auslegung und Betriebsführung intelligenter dezentraler Energieversorgungseinheiten

Dr. Thilo Bocklich, Martin Paulitschke

Aktuelle Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe Multispeicher-Hybridsysteme sowie von Teilprojekt 2 der ESF-Nachwuchsforschergruppe „Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme“ sind die Erarbeitung, experimentelle und simulationsgestützte Untersuchung und Demonstration innovativer Verfahren zur optimalen Auslegung und Betriebsführung dezentraler Energieversorgungseinheiten mit unterschiedlichen, sich ergänzenden Energiespeichern (s. Abbildung 1, [1-3]).

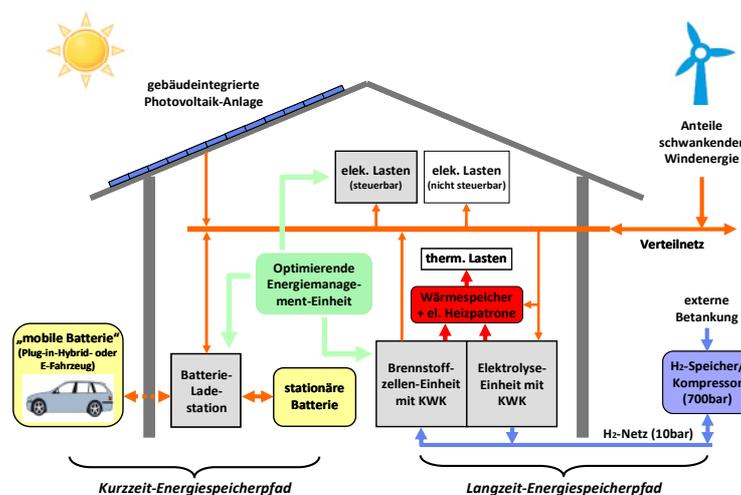


Abbildung 1: Prinzip einer intelligenten dezentralen Energieversorgungseinheit [1]

Grundlage hierfür bilden experimentelle Untersuchungen, Modellierung und Simulation des Betriebsverhaltens der Einzelkomponenten. Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau zur automatisierten Vermessung des Klemmen-, Verlust- und Ladeverhaltens von elektrochemischen Energiespeichern und Wasserstoff-Wandlungskomponenten.

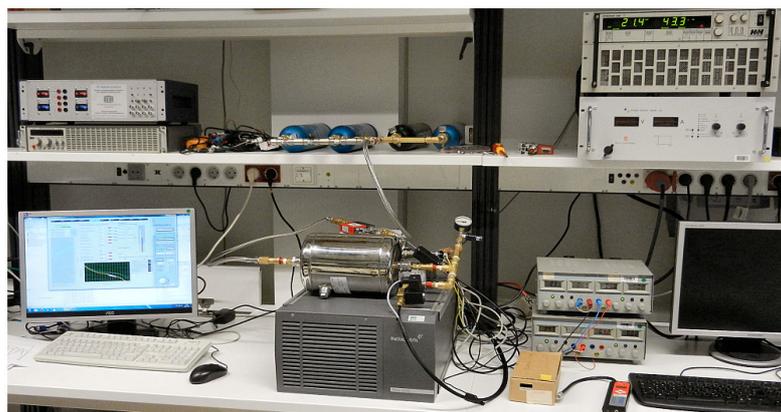


Abbildung 2: Versuchsaufbau zur Vermessung von Brennstoffzellen und Energiespeichern

Kernbaugruppen des Versuchsaufbaus sind eine dynamisch steuerbare elektronische Last und Stromquelle, eine AD/DA-Prozessschnittstelle sowie umfangreiche Sensorik [3]. Abbildung 3 zeigt als exemplarisches Messergebnis das Klemmenverhalten einer PEM-Brennstoffzelle für ein dynamisches Stromprofil (Strombereich: 0-63 A, Stromanstieg:  $\pm 1$  A/s).

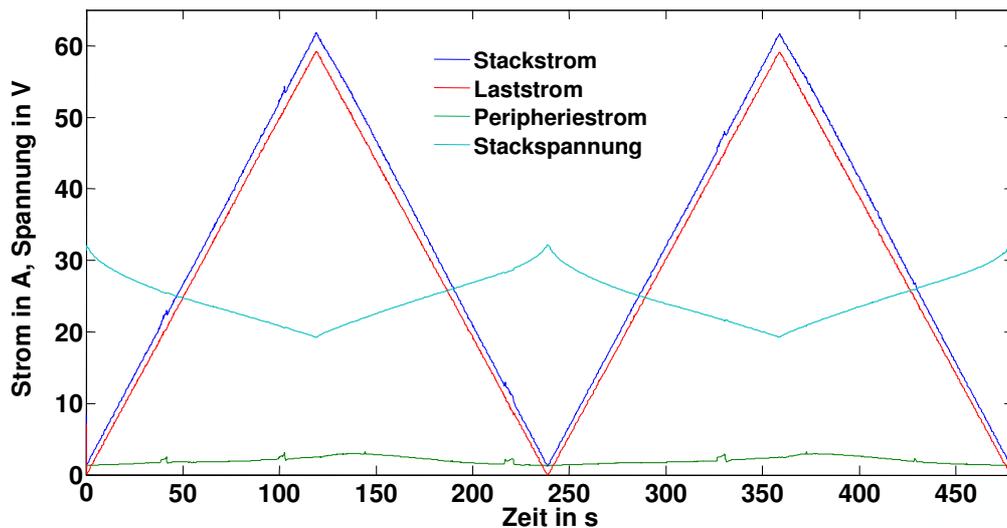


Abbildung 3: Vermessung des Klemmenverhaltens der NEXA1200-Brennstoffzelle

Für die Vermessung der Batterie kommt das Verfahren des „IR-freien“-Ladens zum Einsatz, welches den Lade- bzw. Entladevorgang in regelmäßigen Abständen kurzzeitig unterbricht und über die Messung der offenen Klemmenspannung die innere Batteriespannung, den Innenwiderstand und die Zeitkonstanten des Batterieersatzmodells ermittelt (s. Abbildung 4).

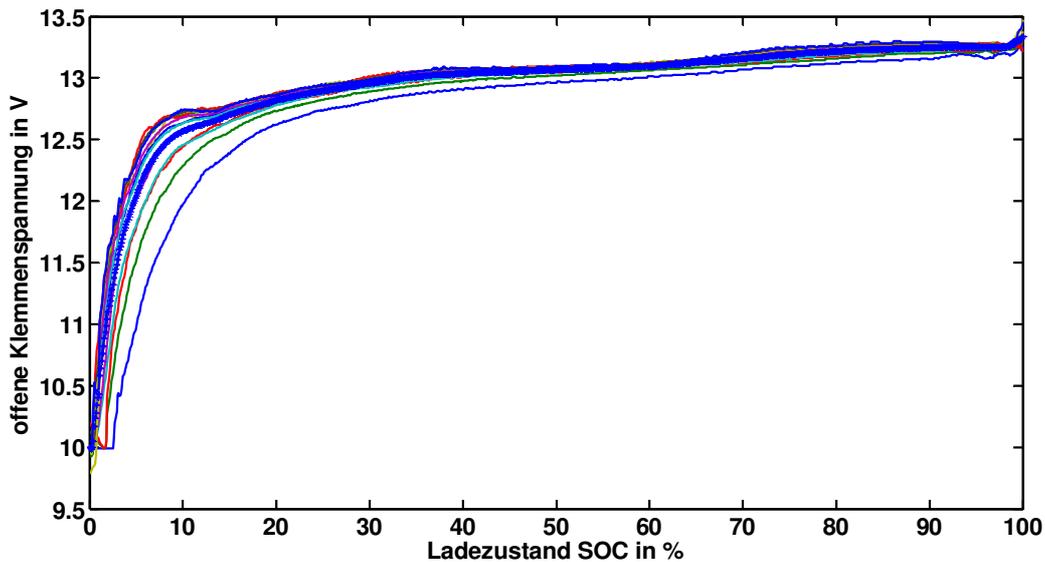
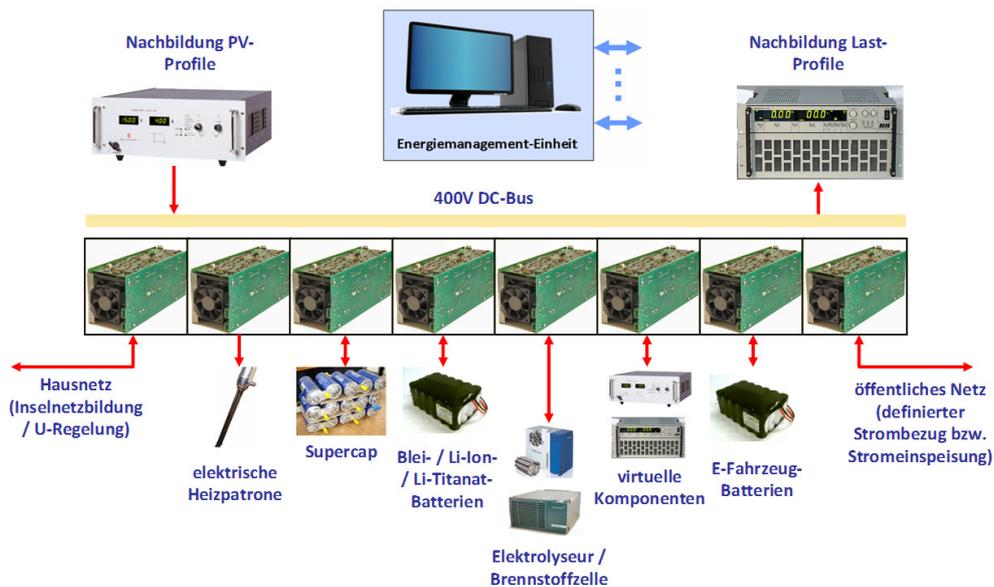


Abbildung 4: Vermessung und Modellierung einer Lithium-Ionen Batterie

Für die Beschreibung der Photovoltaik-Anlage mit Stromrichter wurden ein Zwei-Dioden-Modell und ein einfaches Verfahren zur Suche des Punktes maximaler Leistung implementiert und getestet. Basis für die Steuerung der Leistungsflüsse zwischen den einzelnen Energiespeichern und Energiewandlern bildet ein flexibel konfigurierbares, modulares DC/DC-Wandlersystem (s. Abbildung 5), welches Ende 2011 erstmals in Betrieb genommen werden konnte. Das Multispeicher-Experimentiersystem bildet die Grundlage für die experimentelle Untersuchung, Testung und Demonstration neuartiger Betriebsführungs- und Energiemanagement-Konzepte für eine breite Palette von Anwendungen.



**Abbildung 5: Modulares, flexibel steuerbares Multispeicher-Experimentiersystem**

Ein zweiter Schwerpunkt der Forschungsarbeiten umfasst die Entwicklung und systematische Untersuchung neuartiger optimierender Regelungs- und Betriebsführungsverfahren für Multispeicher-Hybridsysteme [1,2]. Dazu wurden in 2011 unterschiedliche Ansätze für die Sekundärregelung untersucht. Für eine schnelle Hybridsystem-Auslegung, erwies sich eine Zweipunkt-Laderegelung für den Direktspeicher als günstig. Fokus aktueller Arbeiten ist die Erweiterung der optimierenden Betriebsführungsverfahren um intelligente Steuerstrategien für den Elektrolyseur und die elektrische Heizpatrone sowie eine Integration von Zeitreihenmodellen.

Ein dritter Forschungsschwerpunkt liegt in der Entwicklung und Untersuchung von Verfahren zur optimierenden Auslegung von Multispeicher-Hybridsystemen z.B. in Bezug auf minimale Investitions- und Betriebskosten. Dazu wurde ein Simulationswerkzeug entwickelt und für Beispiele mobiler und stationärer Hybridsystem-Anwendungen untersucht. Hierbei wurden die erarbeiteten Verlust-, Klemmenspannungs- und Ladezustands-Modelle der Einzelkomponenten eingesetzt und um ökonomische Bewertungskriterien erweitert. Abbildung 6 zeigt exemplarisch die durch das Auslegungswerkzeug berechneten Ergebnisdiagramme mit den Zeitverläufen der Leistungsflüsse (Last, Brennstoffzelle (BZ) und Direktspeicher (DS), hier Batterie), dem Ladezustands des Direktspeichers, den an den Komponenten auftretenden Strömen und Spannungen (als wichtige Grundlage für die Dimensionierung der leistungselektronischen Wandler) sowie den Bilanzen über auftretende Verlustleistungen und Energieverbrauch.

Das optimierende Auslegungsverfahren arbeitet in drei Schritten:

- 1) Berechnung der Leistungsflussaufteilung auf der Basis des Simulationsmodells für das Multispeicher-Hybridsystem unter Anwendung des gewählten Betriebsführungsverfahrens
- 2) Bewertung der Leistungsflussaufteilung und der jeweiligen Auslegungsvariante auf Basis von Optimierungskriterien (z.B. Effizienz, Beanspruchung, Betriebs- und Investitionskosten)
- 3) Variation der Auslegungs- und Betriebsführungsparameter und Wiederholung von 1) und 2)

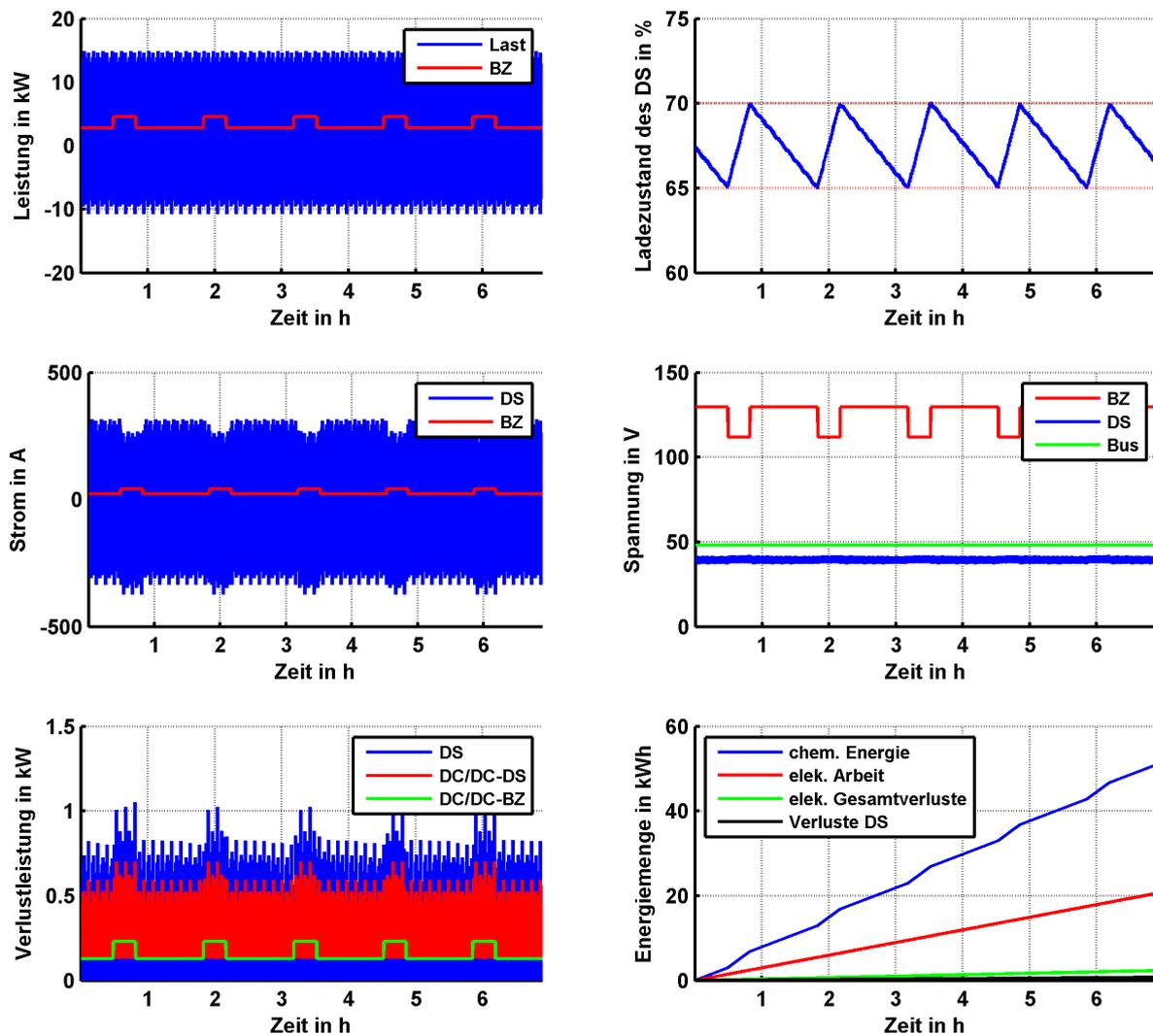


Abbildung 6: Ergebnisdigramme des entwickelten Auslegungswerkzeugs für Multispeicher-Hybridssysteme

Wichtige Variationsparameter sind die installierte Leistung der Wasserstoff-Wandlungskomponenten, die Kapazität der Direktspeicher (z.B. Batterie und/oder Supercap), die Kennwerte der Laderegelung sowie der Arbeitsbereich und der maximale Stromgradient der Wasserstoff-Wandlungskomponenten [1,2].

### Veröffentlichungen:

[1] **BOCKLISCH, TH.:** „Advanced energy management concept for decentralized power supply units“, International Exhibition and Conference for Power Electronics Intelligent Motion Power Quality, VDE Verlag GmbH Berlin Offenbach, 2011, ISBN: 978-3-8007-3344-6

[2] **BOCKLISCH, TH.:** „Optimal design and energy management of decentralized PV-power supply units with short-term and long-term energy storage path“, 3rd European Conference Smart Grids and E-Mobility 2011, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institute.V. (OTTI), Regensburg, 2011, ISBN: 978-3-941785-73-1

[3] **BOCKLISCH, TH.; PAULITSCHKE, M.:** „Experimental test-bed for intelligent decentralized power supply units and multi-storage hybrid systems“, 6. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2011, Eurosolar, Berlin, 2011



## **Belastbarkeit von Niederspannungsnetzen hinsichtlich zukünftiger Verbraucher- und Einspeiserstrukturen**

Andreas Götz

Im Rahmen der Industriepromotion mit dem Industriepartner eins energie in sachsen GmbH und Co. KG wurden weitere spezielle Teilgebiete bearbeitet, um die Promotion abschließen zu können. So wurden die Entwicklung der Elektrifizierungsgrade von Haushalten und die Potenziale zur Verbrauchsverlagerung aufgrund der Verwendung von elektronischen Haushaltszählern (Smart Meter) basierend auf vorliegende Studien untersucht. Mit dem Elektrifizierungsgrad wird eine Einteilung getroffen, in welcher Art und Weise, ein Haushalt mit Elektrogeräten ausgestattet ist. Je nach Ausstattung wird ein Haushalt einem Elektrifizierungsgrad zugeordnet. Somit lässt sich der einzelne spezifische Bedarf an Elektroenergie eines Haushaltes ermitteln. Der Elektrifizierungsgrad ist im klassischen Sinne in 4 Gruppen eingeteilt. Im Folgenden wird nach heutiger Sicht eine Festlegung getroffen, welcher Verbraucher welchem Elektrifizierungsgrad zugeordnet werden kann [1, 2, 3, 4, 5].

### **EG1 schwach elektrische Versorgung**

Licht, Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen und Trockner, Geschirrspüler, TV-Geräte, PC mit der dazugehörigen Peripherie und Kleingeräte

### **EG2 teil elektrische Versorgung**

Licht, Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen und Trockner, Geschirrspüler, TV-Geräte, PC mit der dazugehörigen Peripherie und Kleingeräte plus Kochen mit Elektroherden

### **EG3 voll elektrische Versorgung**

Licht, Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen und Trockner, Geschirrspüler, TV-Geräte, PC mit der dazugehörigen Peripherie, Kleingeräte und Kochen mit Elektroherden plus elektrischer Warmwasserbereitung

### **EG4 all elektrische Versorgung**

Licht, Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen und Trockner, Geschirrspüler, TV-Geräte, PC mit der dazugehörigen Peripherie, Kleingeräte, Kochen mit Elektroherden und elektrischer Warmwasserbereitung plus elektrischer Heizung

Durch den Elektrifizierungsgrad wird der Ausstattungsgrad von Haushalten mit elektrischen Betriebsmitteln beschrieben. Die Abbildung 1 zeigt den prozentualen Anteil der Elektrifizierungsgrade am Bestand der privaten deutschen Haushalte. Es ist zu erkennen, dass mit dem EG1 alle Haushalte ausgestattet sind. Die Entwicklung in Abbildung 1 zeigt, dass der prozentuale Anteil der Elektrifizierungsgrade EG2, EG3 und EG4 einen Zuwachs zu verzeichnen hat.

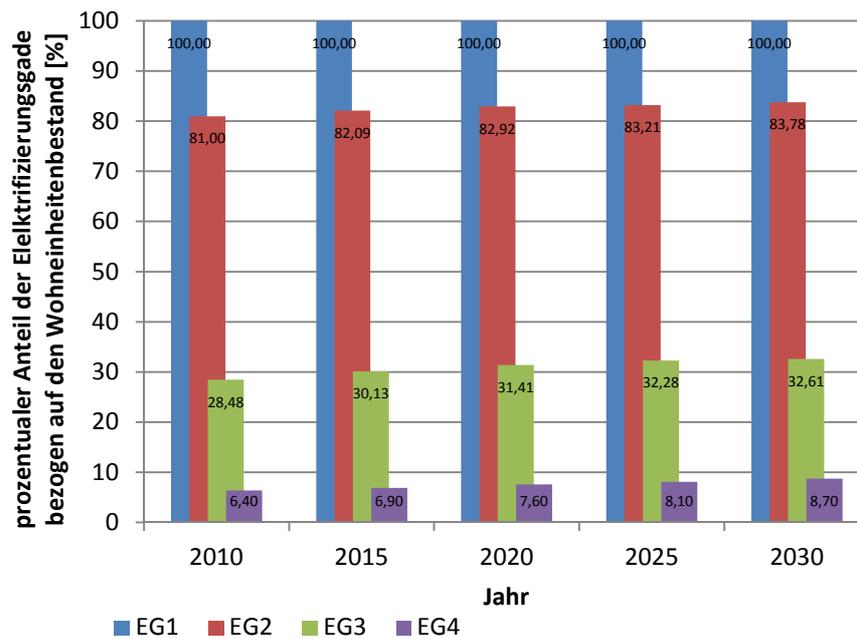


Abbildung 1: Entwicklung der Elektrifizierungsgrade

Ein Elektrifizierungsgrad wird mit den darin enthaltenen Geräten im nächst höheren elektrifizierten Grad mit einbezogen. Um die Entwicklung des Elektrifizierungsgrades durch die ihn spezifizierenden Geräte zu zeigen, wird in Abbildung 2 der Verlauf der reinen Elektrifizierungsgrade abgebildet.

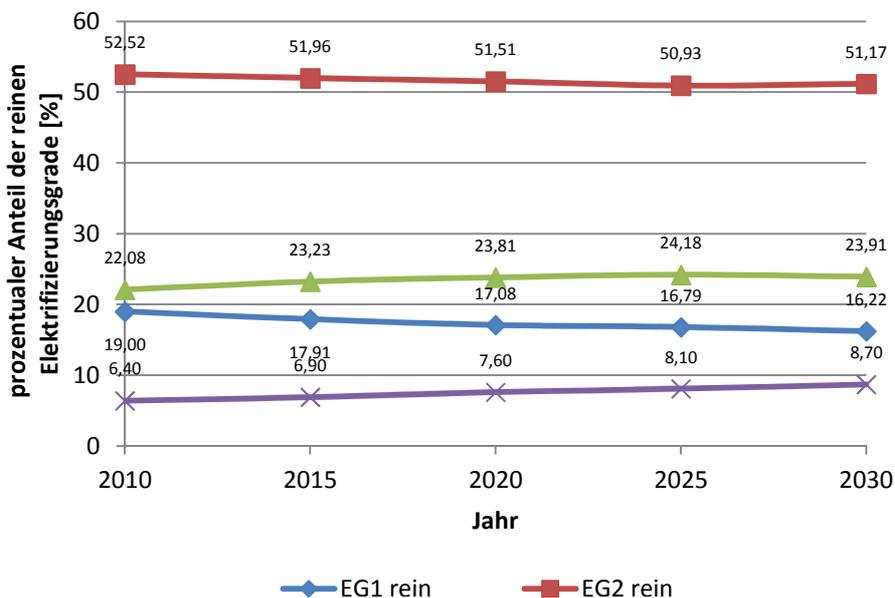


Abbildung 2: Entwicklung der reinen Elektrifizierungsgrade

Haushalte die nur einen Elektroherd verwenden und weder die Warmwasserversorgung noch die Raumwärme mittels Elektroenergie sichern entsprechen einem reinen EG2 und verhalten sich über die Jahre annähernd konstant. Dagegen steigt der Anteil der Haushalte mit einem reinen EG3, deren Warmwasserversorgung mit Elektroenergie geschieht. Ebenso nimmt die elektrische Beheizung zu. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, sinkt der Anteil an privaten Haushalten die nur mit einem reinen EG1 ausgestattet sind. Es zeigt sich daraus das mit einer zunehmender Elektrifizierung privater Haushalte zu rechnen ist.

Neben weiteren Forschungstätigkeiten zu Leittechniksystemen für die Niederspannung, regionalen Konzepten zur Integration von Erneuerbaren Energien und die Realisierung deren entsprechenden lokalen Potenziale wurden spezielle Einflüsse der kommenden Elektromobilität beleuchtet.

So wurden bspw. Szenarien zur Schnellladung von Elektrofahrzeugen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten und stochastische Einflüsse auf den Ladestart sowie deren technische Folgen für den Netzbetrieb untersucht. In einer Fallstudie wurden die Ladekonzepte einer Batteriewechselstation und einer Ladesäule aus ökonomischer Sicht miteinander verglichen. Dabei wurden Kapitalwerte ermittelt und Sensitivitätsanalysen durchgeführt. [6]

Im Rahmen einer weiteren Masterarbeit wurde eine Konzeptstudie zur Zielinfrastruktur der Elektromobilität für das Jahr 2030 für das Gebiet der Stadt Chemnitz erarbeitet.

Die Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Arbeiten dienen u.a. der Bearbeitung von Teilaufgaben der Industriepromotion.

#### Verwendete Literatur

- [1] **KAUFMANN, WOLFGANG;** Planung öffentlicher Elektrizitätsverteilungs-Systeme; VDE Verlag Frankfurt am Main; 1995; ISBN 3-8022-0469-7
- [2] **NAGEL, HERMANN;**  
Systematische Netzplanung; 2. Auflage; VDE Verlag GmbH Berlin; 2008; ISBN 978-3-8022-0916-1
- [3] **SCHEFFLER, J.;**  
Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energie-wandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten; Dissertation; TU-Chemnitz; 2002
- [4] Energieprognose; Netzgesellschaft Chemnitz mbH; 2009; Chemnitz
- [5] **WELLER, R.:** Smart Meter – Elektronische Haushaltszähler und deren Potentiale für Netzbe-treiber und Privatpersonen; Diplomarbeit; TU Chemnitz; Juli 2011
- [6] **DIETZ, E.; KREMP, S.; KNORR, R.; REHME, M.; GÖTZ, A;**  
Vergleich von Batteriewechselstationen und Ladesäulen; ew Jg. 110 (2011), Heft 22, Seite 24 ff.; 2011; ISSN 1619-5795-D9785D



## Lastflussoptimiertes Energiemanagement dezentraler Energieversorgungseinheiten für zukünftige Niederspannungsnetzstrukturen

Jens Teuscher

Das betrachtete städtische Niederspannungsnetz versorgt ca. 860 Haushalte mit Elektroenergie. Näherungsweise kann angenommen werden, dass jeder zweite Haushalt ein Fahrzeug besitzt. Eine Elektrifizierung des Individualverkehrs von 100 % würde bedeuten, dass ca. 430 Elektrofahrzeuge in diesem Niederspannungsnetz geladen werden müssen. Die ersten Simulationen haben gezeigt, dass bei einem gleichzeitigen Laden von 32 Elektrofahrzeugen das Niederspannungsnetz die Grenzen der Belastbarkeit erreicht. Im Speziellen zeigt sich hier der Ortsnetztransformator als das kritische Element. Spannungshaltung oder Leitungsbelastungen spielen im städtischen Niederspannungsnetz eher eine untergeordnete Rolle. Dies lässt sich anhand der verwendeten kurzen Leitungen sowie deren meist großen Querschnitten erklären. Jedoch ist zu beachten, dass die mit der Elektromobilität verbundene höhere und andauernde Belastung der Leitungen nicht in der ursprünglichen Planung beachtet wurde. Das muss zur Neubewertung des Belastungsgrades führen.

32 Elektrofahrzeuge bedeuten in diesem Fall einen Anteil von 7 % am gesamten Fahrzeugbestand. Wird dieser Anteil mit dem im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität erklärten Zielen von einer Million Elektrofahrzeugen 2020 beziehungsweise fünf Millionen Elektrofahrzeuge 2030 verglichen, so würde bei einer gleichen Verteilung der Elektrofahrzeuge auf Deutschland der Anteil von 7 % zwischen 2020 und 2030 erreicht werden. Ein Laden von mehr als 32 Elektrofahrzeugen in diesem Niederspannungsnetz ist nur mit Hilfe eines intelligenten Lademanagements möglich.

Eine sehr einfache Möglichkeit bietet sich dabei in einem gesteuerten Laden in der Schwachlastzeit, da sich zu den Nachtstunden die Mehrheit der Fahrzeuge am heimischen Standort befindet. Dabei beginnen von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr in 5-Minuten-Intervallen jeweils immer sechs Elektrofahrzeuge gleichzeitig mit dem Laden. Durch diese einfache Steuerung wird es möglich, dass die Belastbarkeit des Ortsnetztransformators nicht überschritten wird und alle 430 Fahrzeuge in der Schwachlastzeit geladen werden können. In Abbildung 1 ist ein Vergleich der Auslastung des Ortsnetztransformators bei derzeitiger Verbraucherstruktur und mit 430 Elektrofahrzeugen dargestellt.

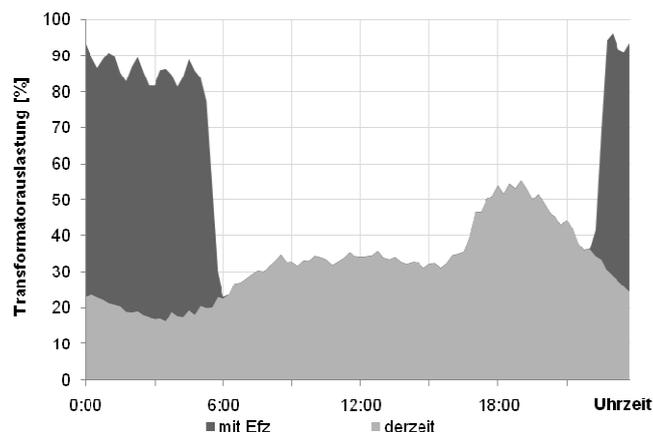


Abbildung 1: Auslastung des Ortsnetztransformators mit und ohne Elektrofahrzeuge

Dabei ist deutlich zu erkennen, wie die Schwachlastzeit in den Nachtstunden verwendet wird, um Elektrofahrzeuge zu laden. Die Schwankungen zur Nachtzeit begründen sich an den verschiedenen Anstiegs- und Abfallzeiten der Ladekurve. Betrachtet wird in diesem Fall ein Elektrofahrzeugbestand von 100 %, was sich für das Netz als schlechtesten Fall darstellt. Dieser Fall wird vermutlich nicht in naher Zukunft eintreten, jedoch wird gezeigt, dass es möglich ist, 430 Elektrofahrzeuge in einem Niederspannungsnetz zu laden. Die Kapazität könnte durch einen Tausch des Ortsnetztransformators oder durch einen zweiten parallelen Ortsnetztransformator weiter erhöht werden. Jedoch wirkt die maximale Belastbarkeit der Leitungen hier einer deutlichen Kapazitätssteigerung entgegen.

Im ländlichen Niederspannungsnetz stellt sich der Anschluss einer hohen Anzahl von Elektrofahrzeugen deutlich komplexer dar. Im Gegensatz zum städtischen Niederspannungsnetz ist hier aufgrund der großen Leitungslängen die Spannungshaltung das begrenzende Kriterium. In Simulationen wurde gezeigt, dass sich dieser Sachverhalt deutlich auf die Anzahl der angeschlossenen Fahrzeuge auswirkt. Je länger die Leitung, desto weniger Elektrofahrzeuge können gleichzeitig geladen werden.

Auch hier ist ein intelligentes Lademanagement, wie es im städtischen Netz verwendet werden kann, sinnvoll. Um jedoch lediglich die Spannungshaltung zu gewährleisten, ist als erster Schritt schon ein regelbarer Ortsnetztransformator ausreichend. Diese werden derzeit in Pilotversuchen getestet und bilden die erste praktische Umsetzung eines intelligenten Netzes. Zu beachten ist jedoch, dass auch im ländlichen Netz bei einer hohen Durchdringung mit Elektrofahrzeugen ein intelligentes Lademanagement unausweichlich wird. Zwar ist die Anzahl der zu versorgenden Fahrzeuge aufgrund der geringeren Bevölkerungsdichte deutlich geringer, jedoch sind auch Leitungen sowie Ortsnetztransformatoren für deutlich geringere Versorgungsleistungen dimensioniert. Daher kann für ländliche Netze je nach Anforderungen ein regelbarer Ortsnetztransformator, ein intelligentes Lademanagement oder ein Netzausbau als Lösung dienen. Eine allgemeingültige Aussage kann aufgrund der deutlichen Unterschiede in Netzstruktur und Verbraucherprofil nicht gegeben werden.

Ein weiterer Schritt sieht eine Verifizierung der simulierten Niederspannungsnetze vor. Dafür werden derzeit Messungen im untersuchten Netzgebiet durchgeführt. Ziel ist es, eine realitätsnahe Simulationsumgebung zu schaffen. Weiterhin liegt der Fokus auf einer Erarbeitung eines Energiemanagements, welches nicht nur das nötige Lademanagement beinhaltet, vielmehr soll hierbei auch ein hoher Anteil erneuerbarer Einspeiser in die Niederspannungsnetze integriert werden. Dabei werden als Optimierungskriterium die Netzverluste im Vordergrund stehen, da schon derzeit etwa 75 % der Netzverluste in der Niederspannungsebene begründet sind. Durch die steigenden Anforderungen auf diese Netzgebiete wird sich auch diese Zahl ohne ein Energiemanagement weiter erhöhen.

## **Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge**

### **TEUSCHER, J.;**

Verlustoptimiertes Energiemanagement in Niederspannungsnetzen; Tagungsband VDE-Kongress 2010, IVN3; VDEW VERLAG GMBH, November 2010, ISBN 978-3-8007-3304-0



## Virtueller Spannungsgenerator

Stefan Krell

Bereits seit 2002 existiert an der Technischen Universität Chemnitz eine einfache und kostenlose Möglichkeit die Parameter zur Anpassung eines HS-Impulsgenerators an das Prüfobjekt gemäß IEC60060-1 online zu bestimmen. Das Ziel ist es entweder normgerechte Blitz- oder Schaltimpuls-spannungen zu erzeugen. Dafür standen die Versionen VIG2002 und VIG2003 zur Verfügung. Mit diesem Angebot soll zum Einen die Möglichkeit geschaffen, in der Lehre anschauliche Erfahrungen mit Parametervariationen zu sammeln und zum anderen kann es auch die Laborpraxis eingesetzt werden. Wegen dem andauernden Interesses von Nutzern aus aller Welt, ist es seit 2010 das Ziel die damals kommerzielle Software zur Netzberechnung durch eine schnellere und dabei nicht kommerzielle Lösung des virtuellen Impulsgenerators - den VIG2011 - zu ersetzen.

Link: <http://www.tu-chemnitz.de/etit/eneho/service/vig/vig2011/index.php?c=vig2011beta>

Die frühere Kombination aus externem, kommerziellem Netzberechnungsprogramm und Java-Bedienoberfläche ist nach immerhin neun Jahren Laufzeit nicht mehr zeitgemäß, langsam und arbeitet zunehmend instabil. Der VIG2011 ersetzt dabei im ersten Schritt den VIG2002 und funktioniert nun unabhängig von zusätzlich betriebener Hardware oder einer kommerziellen Lizenz bei gleichem Funktionsumfang. Die Softwarelösung wurde eigens für diesen Zweck an der TU Chemnitz entwickelt. Der Geschwindigkeitsvorteil konnte durch das spezielle Entwicklungsziel erreicht werden. Ein Parametersatz kann nun in weniger als einer Sekunde bearbeitet und die Ergebnisse angezeigt werden. Zusätzlich werden so zukünftig Stabilitätsprobleme gegenüber der alten Kombination vermieden. Das bewährte und übersichtliche Bedienkonzept bleibt erhalten (Abbildung 1). Die Einstellungen jedes Elementes können entweder über ein Potentiometer oder das dazugehörige Eingabefeld getätigt werden. Rechts werden nach erfolgter Berechnung die wichtigsten Bewertungskriterien nach IEC 60060-1, wie etwa Front-Time; Time-to-Peak oder Time-to-half-Value des Impulses angezeigt.

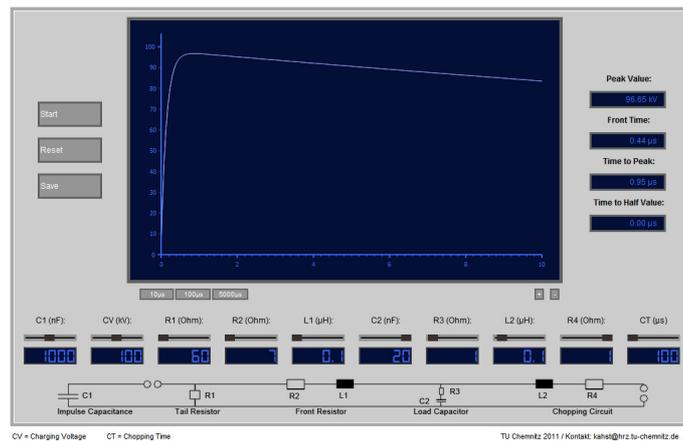


Abbildung 1: Aktuelle Bedienoberfläche VIG2011

### Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge

**KRELL, S.; SCHUFFT, W.; SCHNEIDER, R.; RÖBER, M.; KAHL, S.:** Free Virtual Impuls Generator (VIG) to determine the Impuls Generator settings online, ISH - International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover/VDE-Verlag GmbH, Berlin, Offenbach, 2011. ISBN 978-3-8007-3364-4



## **Umfassende Analyse der Einspeisecharakteristik von Photovoltaik und Windenergie in der Mittelspannungsebene**

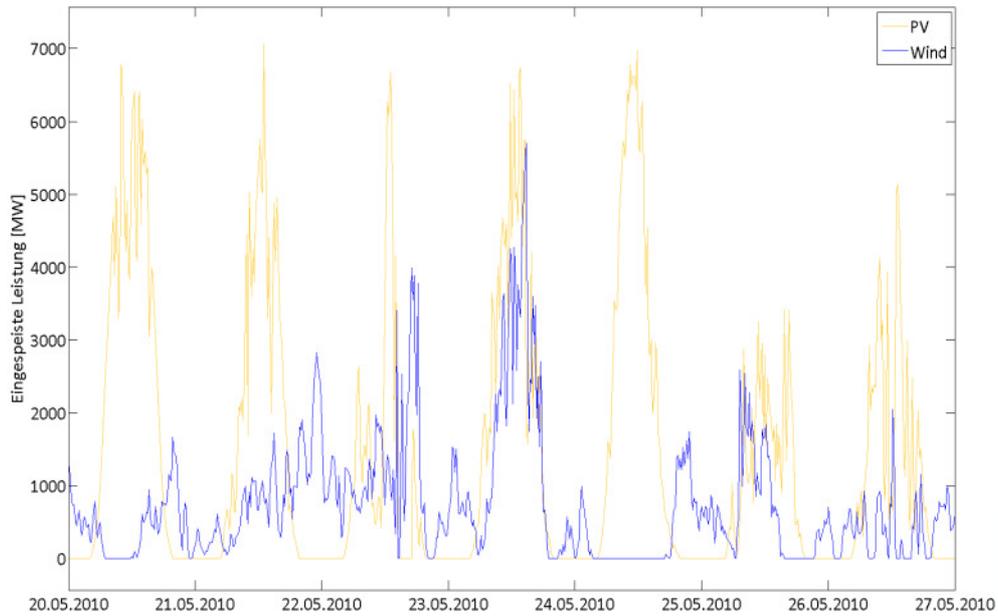
Anne Göhlich

---

Diese Aufgabenstellung wird seit Ende dieses Jahres im Rahmen einer Industriepromotion, gefördert durch den ESF-Fonds sowie ein regionales Energieversorgungsunternehmen, bearbeitet.

Das Vorhaben „Atomausstieg“ birgt viele Herausforderungen. Mit der Zunahme der Einspeisung durch insbesondere Windenergieanlagen, aber auch durch Photovoltaikanlagen, nimmt auch die Schwankung der bereitgestellten Elektroenergie stark zu. Aufgrund der zufälligen (Nicht-) Verfügbarkeit beider Einspeisearten, werden sie auch als stark fluktuierende Einspeiser bezeichnet. Es ist erstrebenswert, stets genau die Menge an elektrischer Energie in das Netz einzuspeisen, die zum jeweiligen Zeitpunkt benötigt wird und von den einzelnen Betriebsmitteln transportiert werden kann. Die Einspeisecharakteristik einiger regenerativer Energieträger ist jedoch sprunghaft und nur bedingt vorhersagbar. Es kann dazu kommen, dass kurzzeitig wesentlich mehr eingespeist, als benötigt wird. In solchen Fällen muss Regelleistung eingesetzt werden, um die Schwankungen auszugleichen. Die Einspeisespitzen stellen eine erhebliche Belastung für das Netz dar, welche dieses stets abfangen muss. Die Netze der für das Mittelspannungsnetz verantwortlichen Energieversorgungsunternehmen werden ohne einen Ausbau bei einer steigenden Einspeisung durch insbesondere Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen unter Berücksichtigung des (n-1)-Kriteriums bald an ihre Kapazitätsgrenzen kommen. Mit dem Promotionsvorhaben soll ein Beitrag geleistet werden, um volkswirtschaftlich die Gesamtkosten (und damit die Preise für die Bereitstellung von Elektroenergie) für die momentane Entwicklung gering zu halten. Als Ergebnis der Arbeit soll ein Modell entwickelt werden, das die Einspeisung durch Photovoltaik und Windenergie in das Mittelspannungsnetz abbildet. Dieses Modell soll zum einen die Eigenschaften der beiden Einspeisearten wie statistische Kennzahlen, zeitliche Abhängigkeiten oder auch Abhängigkeiten der beiden Einspeisearten untereinander untersuchen und berücksichtigen. Für die Untersuchungen stehen die viertelstündlichen Einspeisewerte gemessen an verschiedenen Umspannstationen innerhalb des Netzgebietes eines sächsischen Energieversorgungsunternehmens zur Verfügung.

Für die folgenden Monate steht dabei insbesondere die Untersuchung möglicher Korrelationen zwischen der Einspeisung durch Photovoltaik und Windenergie 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. 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. Für diese soll in den nächsten Schritten überprüft werden, ob es sich um zufällige Vorkommnisse handelt oder ob eine Systematik dahinter steht. Beispielsweise könnten bestimmte Wetterkonstellationen für die hohen Korrelationen verantwortlich sein.



**Abbildung 1: Einspeisung durch Photovoltaik und Windenergie von einer Woche im Jahr 2010**

Bisherige Modelle beschäftigen sich ausschließlich mit der Modellierung der Globalstrahlung aus Satellitendaten, Wetterdaten, Strahlungsdaten, auf welchen aufbauend die Leistung ermittelt wurde. Auf diesem Wege werden aber vermutlich gewisse Effekte nicht berücksichtigt. In den reinen Einspeise-Zeitreihen sind alle notwendigen Informationen enthalten.

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



## Using of Renewable Sources in the Liberalized Electricity Market Environment in the Czech Republic.

Viktor Majer

In recent years major changes were occurred in the power sector. These changes were caused by the liberalization of the electricity market, when the aim was, among other things, to reduce prices for final customers. Liberalization has been launched in different countries in different years. In the Czech Republic it was three years later than in Germany. The aim of this paper is to present liberalization status and situation on the field of renewable sources.

First of all, it is necessary to introduce this country. The Czech Republic is the middle European country. It has 78 867 km<sup>2</sup> and 10 542 080 people. It is located on the watershed of 3 rivers, which is important information for the reason of water power plants usage. The most of the generated electricity comes from brown coal-fired steam power plants and further from the nuclear power plants (Temelin, Dukovany).

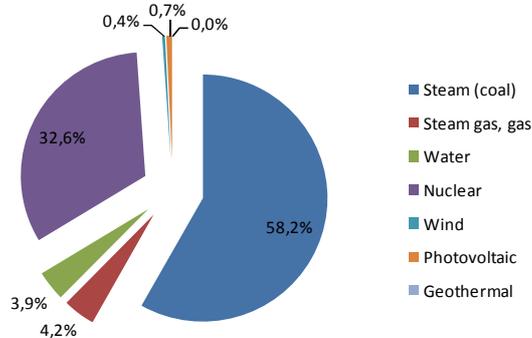


Fig. 1 Generated electricity in the Czech Republic

Total installed electricity power was 20 GW and the generated electricity was 86 TWh in 2010. Steam power plants produced roughly 58% of electricity, nuclear 33%, hydro and combined cycle 4% and the rest comes from photovoltaic and wind power plants. This situation is shown in the left figure. Czech Republic does not have ideal conditions for massive usage of renewable sources. The potential of large hydroelectric power plants construction is already exhausted. However, there is another possibility to usage of photovoltaic, biomass and wind power.

In this section it is necessary to mention the legislative changes that were occurred in the power sector. Liberalization of this sector was started in 2001 and was completed in 2006, when all customers got the opportunity to choose their supplier. As the market model was selected the Third Part Access to the network in the conditions of regulated prices, which are set by the energy regulatory office. The electricity market created new entities as Energetic Regulatory Office, The Transmission System Operator, the Distribution System Operator, Operator of the Electricity Market, Trader etc. There is only one TSO and its task is, among others, to control the power system at the level of the transmission system. It works as the system operator. Furthermore, there are three DSO: The CEZ Distribution, EON Distribution, PRE Distribution as is shown in the right figure. An important subject is the Operator of the Electricity Market. Its task is the settlement of imbalances and basically



Fig. 2 Map of DSO in the Czech Republic

combines physical flows with business flows. Finally the Energy Regulatory Office (ERU) sets the regulated prices for the network usage with the help of its pricing decisions and also the purchase price from renewable sources. The final electricity price for final customers has a regulated and an unregu-

lated part. The regulated part includes pay for the transmission and the distribution of the electricity, pay for the Operator of the Electricity Market (OTE) services, contribution to renewable energy sources and tax on electricity. The unregulated part of price is determined by the Exchange.

As it was already mentioned, the Energy Regulatory Office sets purchase prices of renewable energy sources (RES). In the Czech Republic there are two different ways of their support.

- Purchase prices
- Green premiums

The size of the purchase prices and green premium allow the 15 years guarantee to the return of investments. Purchase prices are set with the help of the price decision of ERU and guarantee the minimum purchase price for a certain type of RES. The green premium is the bonus which is paid to the market price of the electricity and also to the ‘other house load’. If a producer chose the green premium mode, he must sell its generated electricity on the electricity market. Then they paid for him a premium for the amount of sold electricity. If a producer chose the purchase prices mode, he gets money from DSO or TSO on the basic of purchase prices and delivered quantity of electricity.

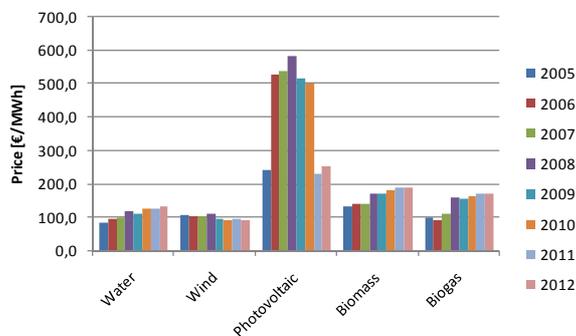


Fig. 3 Development of purchase prices in the Czech Republic

\* In the figure are shown the maximum Purchase prices and for photovoltaic above 100 kW.

In the left figure you can see the progress of purchase prices. The highest modification occurred at the purchase price of photovoltaic. From any other source except the wind, the price increases every year. The massive increase in purchase prices for photovoltaic caused substantial growth in the installation of these types of power stations. This situation is illustrated in the figure bellow. The installed capacity in 2010 is approximately 50

times greater than in 2008 and it is approximately equivalent to an installed capacity of hydroelectric power plants. This sharp increase of installed capacity was stopped to help the TSO, which did not allow network

connection and also with the help of a significant reduction of purchase prices. This rapid development also caused a significant increase of electricity prices regulated part. Currently (2011) it can be connected to the grid photovoltaic roof installations up to 30 kWp. The sharp increase of solar installations also caused an increase in electricity production from RES. In 2008 the share of electricity produced from renewable energy sources was more than 5%. In 2010 it was more than 8%. These shares are not included in the usage of biodegradable municipal waste and sludge. The development of electricity from renewable sources and development of installed capacity is shown on the charts below.

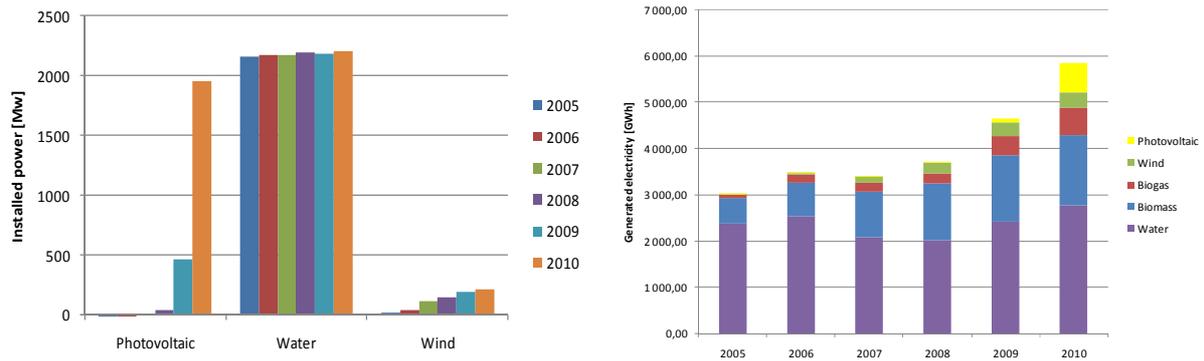


Fig. 4 Development of generated electricity from RES Fig. 5 Development of installed power from resres RES

There is a gradual increase in production from solar, wind, biomass and biogas. According to the National Action Plan, which respects the Directive 2009/28/EC the target share of energy from renewable sources in gross final energy consumption in 2020 should be 13.5%.

The aim of this article was to describe the liberalized market in the Czech Republic and also the development and usage of RES. The Fully liberalized electricity market was established since 2006, where all customers have got the opportunity to choose their supplier. There is a gradual increase of installed capacity and generated electricity. The most significant increase in installed capacity from renewable energy sources is in the field of photovoltaic, which was strongly stimulated by high purchase prices.

**REFERENCES**

[1] Energy regulatory office (20.12.2011)  
<http://www.eru.cz>

[2] Energy Act 458/2000 Sb. (20.12.2011)  
<http://portal.gov.cz/zakon/458/2000>

## Dissertationen, studentische Arbeiten

### Diplomarbeit Rene Weller

---

#### **Smart Meter - Elektronische Haushaltszähler und deren Potenziale für Netzbetreiber und Privatkunden**

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde die Entwicklung des Verbrauchsverlagerungspotenzials und der Elektrifizierungsgrade privater Haushalte, unter Nutzung elektronischer Haushaltszähler mit integrierten variablen Tarifen, untersucht. Elektronische Haushaltszähler sind, nach dem EnWG §20 seit dem 01. Januar 2010 für Neubauten und größere Renovierungen, Pflicht. Des Weiteren muss, nach EnWG §40 seit dem 30. Dezember 2010, der Energieversorger einen variablen Tarif anbieten.

Ein elektronischer Haushaltszähler bietet die Möglichkeit das Verbraucherverhalten des Privatkunden im Sinne eines Demand Side Managements zu steuern. Für die Ermittlung des Potenzials der Verbrauchsverlagerung wurde die Entwicklung der Elektrifizierungsgrade, das heißt, die Ausstattung privater Haushalte mit elektrischen Betriebsmitteln, untersucht.

Es zeigte sich, dass mit einer Zunahme der Elektrifizierung bis 2030 zu rechnen ist. Die Grundlage für die Berechnung des Potenzials einer Verbrauchsverlagerung bildete eine Energieprognose für die Jahre 2010 bis 2030. Die Berechnung erfolgte für das täglich zur Verfügung stehende Potenzial eines Haushaltes und das gesamte Verbrauchsverlagerungspotenzial mit dem der Energieversorger rechnen kann. Das Ergebnis stellt dar, dass für einen Haushalt nur ein geringes, direkt vom Nutzer beeinflussbares Potenzial zur Verfügung steht. Der größte Anteil ist über ein MDM-System durch den Energieversorger abrufbar. Für die Entwicklung des gesamten Verbrauchsverlagerungspotenzials wurde gezeigt, dass entgegen der steigenden Elektrifizierung, der Elektroenergiebedarf, durch die Effizienzverbesserung der Geräte, sinkt.

Der prozentuale Anteil für eine Verbrauchsverlagerung verhält sich dabei konstant und kann bis zu 65 % des gesamten Elektroenergiebedarfes privater Haushalte betragen. Das Verbrauchsverlagerungspotenzial für die Beheizung wurde dabei als der größte Anteil identifiziert. Dieses Verbrauchsverlagerungspotenzial wird aber lediglich von etwa 7 % aller Haushalte eingebracht (siehe Abbildung 1). Damit besteht für den Energieversorger die Möglichkeit, mit einem geringen technischen Aufwand, das größte Potenzial zu nutzen. Laut einer aktuellen Umfrage erwarten Energieversorger eine mittlere Verbrauchsverlagerung von 5 %, bei der Einführung von tageszeitabhängigen Tarifen. Das Ergebnis zeigt damit, das ungenutzte Potenzial für eine Verbrauchsverlagerung auf.

Es gilt als Herausforderung für den Energieversorger, durch den Aufbau eines Demand Side Managements, sprich einem gezielten Einsatz elektronischer Haushaltszähler und Anreize mittels variabler Tarifstrukturen, einen Zugriff auf dieses Potenzial zu erlangen.

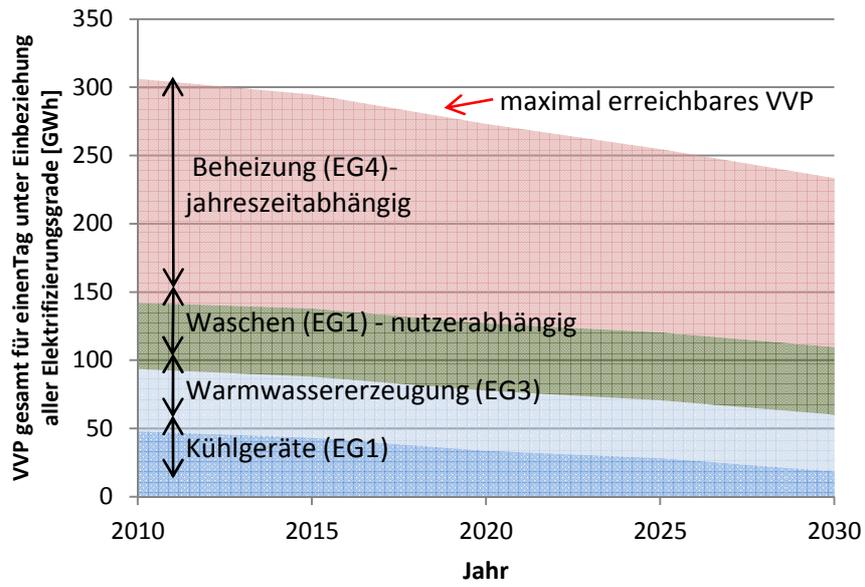
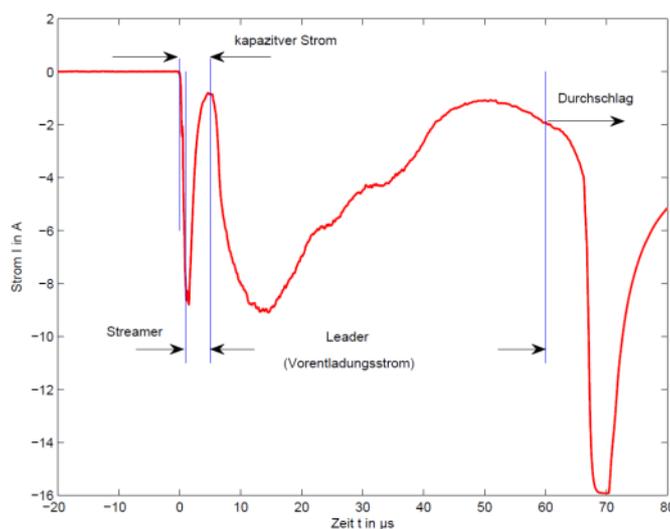


Abbildung 1: gesamtes Verbrauchsverlagerungspotenzial für einen Tag unter Einbeziehung aller Elektrifizierungsgrade [GWh]

## Diplomarbeit Akif Gürlek

### Untersuchung Durchschlagsverhalten bei Luftfunkenstrecken

Die Betriebsmittel der Energieversorgung sind Naturphänomenen ausgesetzt, die dessen Weiterbetrieb beeinträchtigen können. So kann ein Blitzeinschlag ins Erdseil der Freileitung zu einem rückwärtigen Überschlag vom Mast über den Isolator zum Leiterseil führen. Dieser rückwärtige Überschlag folgt eine Wanderwelle, die zu angeschlossenen Anlagen laufen kann und deren Betrieb stören und in Einzelfällen zur Zerstörung führen kann. Um das zeit- und spannungsabhängige Verhalten des Überschlages besser zu verstehen, werden im Rahmen der Diplomarbeit Untersuchungen an real existierende Anordnung, wie sie an Lichtbogenarmaturen an Isolatoren vorkommen, durchgeführt. Hierbei soll innerhalb der Diplomarbeit der Überschlagsprozess messtechnisch erfasst werden. Für die Erfassung des Durchschlages wird ein Messsystem entwickelt und beschrieben, die eine Analyse des Verhaltens vor dem Durchschlag erlaubt. Hierbei werden Ströme bei Anlegen von Impulsspannungen (bis zu 2,2 MV) gemessen. Der zu messende Strom gibt Aufschluss darüber, welche Entladungsformen in Abhängigkeit der Höhe der Impulsspannung und des Elektrodenabstandes auftreten. Die Messung erfolgt über einen Stromshunt. Die Aufzeichnung des Stromes wird über ein Oszilloskop realisiert. Zur Minimierung von Messfehlern durch lange Kabelleitungen liegen Stromshunt und Oszilloskop nah beieinander. Um das Messsystem vor Beschädigung zu bewahren werden Schutzrichtungen definiert. Für den primären Schutz wird das Oszilloskop mitsamt dem Stromshunt in einem Schutzgehäuse autark betrieben. Die Einspeisung wird durch Akkumulatoren realisiert. Sekundärseitig werden Dioden zum Stromshunt parallel geschaltet, die den Durchschlagstrom (bis zu 10 kA) ableiten. Denn für die Untersuchung des Durchschlagsprozesses ist der Verlauf vor dem Durchschlag von Nöten. Hier treten lediglich Ströme im niedrigen zweistelligen Ampere-Bereich auf. Nach Aufbau des Messsystems erfolgen Messungen an den Laboren der TU Chemnitz (bis 600 kV) und TU Dresden (bis 2,4 MV). Nach erfolgten Messungen wird beispielhaft ein Stromverlauf in der Abbildung 1 aufgezeigt. Hierin erkenntlich ist das Auftreten von mehreren Entladungsformen. Dazu gehören die Streamer-Entladung und die Leader-Entladung. Dass das Integral des Leaderstroms eine größere Ladung gegenüber dem Streamer zur Folge hat, liegt in der schnellen Vermehrung freier Ladungsträger.



**Abbildung 1:** Stromverlauf beim Impulsdurchschlag

Spannungsform: Blitzspannung  $1,2/50\mu\text{s}$ , Elektrodenabstand: 3 m,

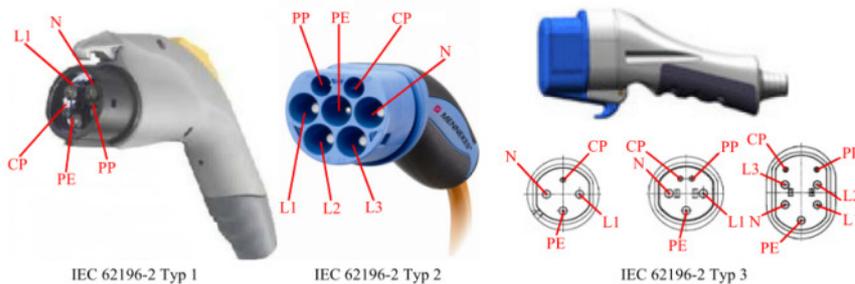
Spannung: 1,6 MV, Elektrodenanordnung: Spitze – Platte

Weiterhin werden Scheitelwerte, Dauer und die Ladungen jeweils für den kapazitiven Stromanteil (inklusive Streamer) und für den Anteil der Leaderströme in Abhängigkeit der Spannung bzw. des Elektrodenabstandes analysiert und anschließend statistisch interpretiert.

**Masterarbeit Eric Dietz**

**Konzeptstudie zur Erarbeitung einer Zielfrastruktur der Elektromobilität für das Jahr 2030**

Der Wandel des Antriebskonzeptes, vom Verbrennungsmotor hin zum Fahrzeug mit Elektromotor, hat bereits begonnen. Triebkräfte dafür sind die zu erwartenden Preissteigerungen durch die Ressourcenknappheit bei konventionellen Treibstoffen, aber auch das gestiegene Umweltbewusstsein, der technologische Fortschritt und die politischen Interessen. Ausgehend von der Annahme, dass es in Chemnitz im Jahr 2020 (2030) maximal 5.000 (15.000) Elektrofahrzeuge geben wird, leitet sich die Zielstellung der Arbeit ab. Diese beinhaltet das Erstellen eines vierphasigen Stufenplans zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur in Chemnitz bis zum Jahr 2030. Dabei wurden technologische, verhaltenswissenschaftliche, rechtliche, ökonomische, demographische und städtebauliche Rahmenbedingungen berücksichtigt. Für das Chemnitzer Stadtgebiet ist zu erwarten, dass sich konduktive Ladestationen mit IEC 62196-2 Typ 2- und Schuko-Steckverbindern in den nächsten Jahren durchsetzen (Abbildung 1). Diese werden vorzugsweise im halböffentlichen Raum errichtet. Aufgrund von verschiedenen Hemmnissen, wie zum Beispiel dem hohen Kaufpreis oder der kurzen Reichweite, gibt es anfänglich nur wenige Erstnutzer der Elektromobilität. Da diese ihr Fahrzeug hauptsächlich am eigenen Standort laden werden, ist die öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur in Chemnitz bedarfsgerecht zu positionieren. Mit dem Hinzukommen anderer Nutzergruppen erfolgt die Ausweitung der Ladestationen flächendeckend auf Basis der Bevölkerungszahl des jeweiligen Gebietes. Die Elektromobilität ist ein Wachstumsmarkt, von dem viele Branchen profitieren werden. Jedoch verlagert sich die Abhängigkeit von den Ölstaaten hin zu wenigen anderen Ländern, die Lithium, Neodym und Kupfer fördern.



**Abbildung 1: Spezielle Ladestecker [Wie, S. 14 ff.]**

## Bachelorarbeit Oliver Schreiber

---

### Übertragungseigenschaften eines Drehstromkabelsystems

Durch die zunehmende Nachfrage und Bereitstellung von dezentralen Energieerzeugern steigt im gleichen Maße die Notwendigkeit des Netzausbaus in der Hochspannungsebene für die Energieübertragung. Um den notwendigen Netzausbau realisieren und gewährleisten zu können, müssen die Energieversorgungsunternehmen vermehrt auf Drehstrom-Kabelsysteme zurückgreifen.

Diese Bachelorarbeit beschreibt die Übertragungseigenschaften eines Drehstrom-Kabelsystems anhand seiner konstruktiven und elektrischen Parameter, sowie die bei der Energieübertragung auftretenden strom- und spannungsabhängigen Verlusten. Zu Beginn der Arbeit wird der allgemeine konstruktive Aufbau eines Kabelsystems in der Hochspannungsebene dargestellt und das daraus folgende Betriebsverhalten im stationären Betrieb beschrieben. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden sämtliche Grundlagen zur Beschreibung und Berechnung der Übertragungseigenschaften eines Kabelsystems zu Grunde gelegt. Dazu zählen neben der Übertragungskapazität, der auftretenden strom- und spannungsabhängigen Verlusten sowie die Betriebsspannung im Zuge und am Ende des Kabels auch die Aufstellung von Kompensationsanlagen entlang der Kabelstrecke. Auf Basis der formulierten Grundlagen zur Beschreibung der Übertragungseigenschaften eines Kabelsystems wurde ein Berechnungsprogramm mit Hilfe von Matlab geschaffen. Dieses Berechnungsprogramm ermöglicht die Simulation und Bewertung der Energieübertragung mit verschiedenen Kabeltypen. Dabei werden sowohl die elektrischen als auch die konstruktiven Parameter wie zum Beispiel Kabelquerschnitt und Verlegungsart berücksichtigt. Die aus dem Programm gewonnenen Ergebnisse sollen als Hilfestellung zur Auslegung von langen Kabelstrecken dienen.

## Bachelorarbeit Falk Leuoth

---

### Ähnlichkeitsanalyse an Teilentladungs-Messreihen von Mittelspannungskabelsystemen

Teilentladungsdiagnose gewinnt zunehmend an Bedeutung. Sie ist ein wichtiger Bestandteil aller Bereiche von elektrischen Systemen geworden. Die Untersuchung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messreihen am Beispiel von zwei Mittelspannungskabelsystemen bestehend aus zwei, mit einer Muffe verbundenen Kabelstücken und deren zwei Endverschlüssen, sowie die Auswertung dieser Daten und die Generation von ausgewählten Merkmalen sind der Kern der Arbeit. Die gewählten Merkmale:

- Mittelwert der Phasenlage der Teilentladungen
- Häufigkeit des zeitlichen Auftretens der Teilentladungen
- Häufigkeitsverteilung der Prüfspannungsdifferenzen zwischen aufeinanderfolgenden TE-Impulsen
- Abhängigkeit zwischen scheinbarer Ladung und der Prüfspannungsdifferenz aufeinanderfolgender Impulse

Diese werden über zwei Messreihen an den zwei Kabelsystemen verglichen und ausgewertet. Es zeigt sich das die generierten Merkmale durchaus zum Vergleich herangezogen werden können. Einen sehr großen Einfluss die Teilentladungsintensität und -entwicklung haben dabei Ruhezeiten vor der Messung und die Prüfspannungen.

In weiteren Untersuchungen müsste festgestellt werden, inwieweit diese Merkmale hilfreich sind bei der Erkennung unterschiedlicher, andersgearteter Fehlstellen und inwiefern damit gleiche bzw. ähnliche Fehlstellen wiedererkannt werden können.

---

## Bachelorarbeit Sebastian Duda

---

### Szenarien zur Schnellladung von Elektrofahrzeugen im semi-öffentlichen Raum

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Szenarien zur Schnellladung von Elektrofahrzeugen im semi-öffentlichen Raum. Hierfür wurden die verschiedenen Ansätze zum Aufbau einer Ladeinfrastruktur in Deutschland dargelegt und die damit verbundenen Geschäftsmodelle herausgearbeitet. Vertiefend wurde das Konzept einer Stromtankstelle auf technische und rechtliche Aspekte untersucht. Für einen typischen Ortsnetztransformator eines Netzgebietes wurden Randbedingungen festgelegt und Simulationen sowie Berechnungen durchgeführt. Des Weiteren wurde die Rückwirkung der Schnellladung auf das Elektroenergienetz aufgezeigt.

Für die Umsetzung einer Stromtankstelle in die bestehende Tankstelleninfrastruktur oder in die Parkplatzstruktur eines Einkaufszentrums sind ein Ausbau der Elektroenergienetze sowie ein intelligentes Lademanagement notwendig.

Die hier insgesamt erzielten Resultate führen zu der Aussage, dass die begrenzte Reichweite durch die neue Infrastruktur mehr als ausgeglichen wird. So werden sich Lademöglichkeiten dahin verlagern, wo ein Elektrofahrzeug abgestellt wird. Das sind Park and Ride Plätze, Bahnhöfe, Flughäfen, Betriebe und Einkaufszentren. Stromtankstellen werden zum Überall-Automaten Deutschlands, denn es wird nicht mehr gewartet bis der Tank leer ist. Ob Einkäufe, Besuche oder Essen gehen, das Elektrofahrzeug wird immer dann geladen, wenn es steht. Die Ladeinfrastruktur wird sich so entlang der Parkmöglichkeiten für Fahrzeuge orientieren, nicht an der Reichweite. Immer wenn das Fahrzeug abgestellt wird, wird es an das Netz angeschlossen, genauso selbstverständlich, wie das Fahrzeug abgeschlossen wird.

Die kommunikationstechnische Verknüpfung zwischen Nutzer, Fahrzeug, Ladestation und Energieerzeuger ist die Voraussetzung eines funktionierenden Gesamtsystems. Das heißt, dass die Fahrzeughersteller und die Energieversorger eng miteinander kooperieren müssen. Für die Energiebranche bedeutet der Wechsel zur Elektromobilität eine große Chance, stellt sie aber auch vor große Herausforderungen, die in der Zukunft noch bewältigt werden müssen. Ziel muss es sein, eine sinnvolle Energiepolitik zu betreiben. Auch muss die Standardisierung der Schnittstellen zwischen dem Fahrzeug, Ladeinfrastruktur und Abrechnungssystem von Politik, Energiewirtschaft und Automobilindustrie vorangetrieben werden. [zitiert aus der Bachelorarbeit Duda]

**Bachelorarbeit Yves Pfeiffer**

**Energiekonzept Vogtlandkreis - Potentiale Erneuerbarer Energien und Energiebedarfsprognose**

Die Arbeit untersucht eine Region energiebilanziell, auf die Umsetzung einer Energieversorgung mit überwiegend erneuerbaren Energiequellen in verschiedenen Varianten der Autarkie. Als Modellregion dient hierbei der Vogtlandkreis. Es werden dabei vier, in ihrem Autarkiegrad unterschiedliche Szenarien mittels einer SWOT-Analyse auf die allgemeinen Merkmale von Elektroenergie, der Wirtschaftlichkeit und den Umweltschutz ausgewertet. In einem zweiten Schritt werden die Daten zum elektrischen und thermischen Energiehaushalt dargestellt und ausgewertet. Es werden folgende Fragen beantwortet:

- Wie hoch ist der aktuelle Energiebedarf?
- Wie ist die heutige Einspeisesituation regenerativer Energiequellen?
- Wie wird sich der Anlagenbestand Erneuerbarer Energien voraussichtlich weiterentwickeln und welches regenerative energetische Potenzial bietet der Vogtlandkreis?

Als Ergebnis stellt sich das Szenario, das von einer optimalen, deutschland- bzw. europaweiten Platzierung regenerativer Energieerzeuger ausgeht, als das realistischste Szenario heraus.

In der folgenden Abbildung aus der Bachelorarbeit ist der aktuelle PV-Anlagenbestand des Vogtlandkreises dargestellt.

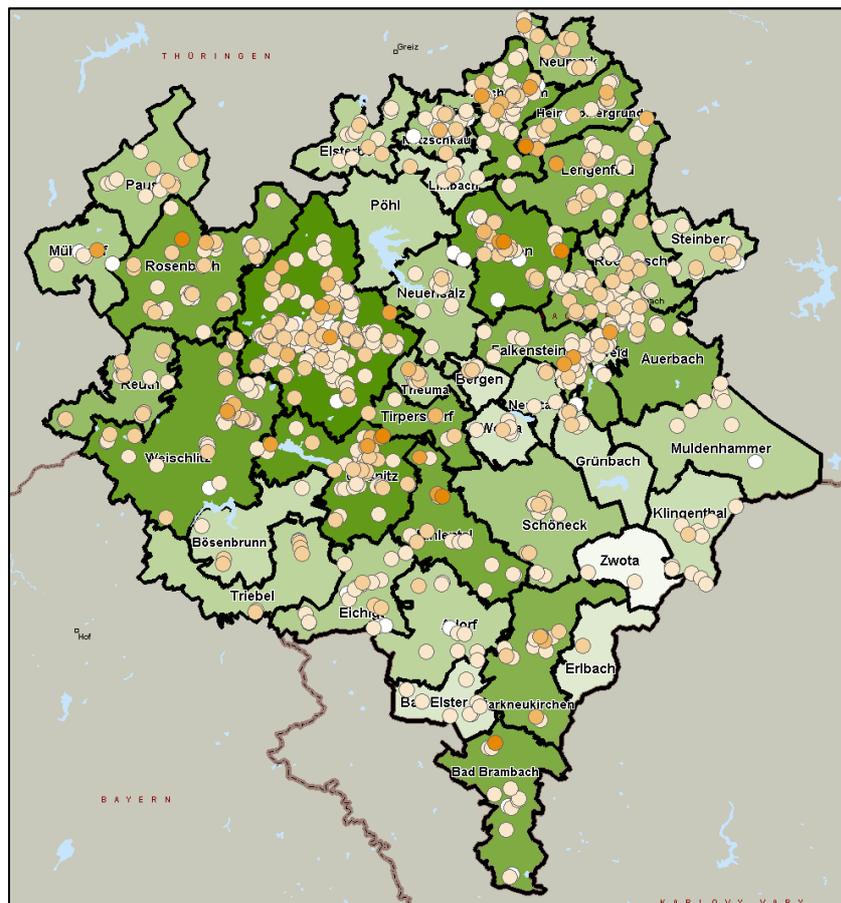


Abbildung 1: Bestand an Photovoltaikanlagen des Vogtlandkreises (Quelle:50Hertz Transmission GmbH Stand: 06.06.2011)

## Aktuelle Dissertationsprojekte

<b>Al-Maamoory, S. S. M.:</b>	Versorgungszuverlässigkeit in Verteilnetzen bei Anwendung probabilistischer Methoden zur Bewertung der Lastsituation und unter Einbeziehung dezentraler Erzeugungseinheiten
<b>Göhlich, A.:</b>	Umfassende Analyse des Einspeiseverhaltens von Photovoltaik und Windenergie auf Mittelspannungsebene
<b>Götz, A.:</b>	Belastbarkeit von Niederspannungsnetzen hinsichtlich zukünftiger Verbraucher- und Einspeiserstrukturen
<b>Gürlek, A.:</b>	Analyse der Auswirkungen der Lastflussveränderungen in Verteilnetzen aufgrund der Energiewende
<b>Hadid, S.:</b>	Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors an PE/VPE-Isolierungen
<b>Hoshmeh, A.:</b>	Modellierung frequenzabhängiger Kabel für die Simulation der elektromagnetischen transienten Vorgänge
<b>Hunold, S.:</b>	Algorithmische Bestimmung der Ausfallcharakteristik von Mittelspannungs-Kabelmuffen auf der Basis von diagnostischen Messwerten und Betriebsmitteldaten
<b>Krell, S.:</b>	Fehleridentifikation von Mittelspannungs-Kabelmuffen mittels TE-Messungen
<b>Kühnert, D.:</b>	Netzintegration von Elektromobilität unter Nutzung regenerativer Energiequellen
<b>Malekian-Boroujeni, K.:</b>	Modellbildung des Oberschwingungsverhaltens der Windparks
<b>Schmidt, U.:</b>	Frequenzabhängige Parameter von Drehstrom-Kabelsystemen
<b>Shirvani-Boroujeni, A.:</b>	Durchschlagverhalten von luftisolierten Anordnungen Modellierung von rückwärtigen Überschlägen
<b>Teuscher, J.:</b>	Lastflussoptimiertes Energiemanagement mehrerer dezentraler Energieversorgungseinheiten für zukünftige Niederspannungsnetzstrukturen

## Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge

**BOCKLISCH, Th.;**

*Experimental test-bed for intelligent decentralized power supply units and multi-storage hybrid systems. 6. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien;*  
IRES 2011, Eurosolar, Berlin, 2011;

**BOCKLISCH, Th.;**

*Advanced energymanagement for decentralized power supply units;*  
International Exhibition and Conference for Power Electronics Intelligent Motion Power Quality, VDE Verlag GmbH Berlin Offenbach, 2011. ISBN: 978-3-8007-3344-6

**DIETZ, E.; KREMP, S.; KNORR, R.; REHME, M.; GÖTZ, A.;**

*Vergleich von Batteriewechselstationen und Ladesäulen;*  
ew Jg. 110 (2011), Heft 22, Seite 24 ff., 2011. ISSN 1619-5795-D9785D

**BOCKLISCH, Th.;**

*Optimal design and energy management of decentralized PV-power supply units with short-term and long-term energy storage path;*  
3rd European Conference Smart Grids and E-Mobility 2011, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Regensburg, 2011. ISBN: 978-3-941785-73-1

**TEUSCHER, J.; GÖTZ, A. ; SCHUFFT, W.;**

*Integration einer hohen Anzahl von Elektrofahrzeugen im Niederspannungsnetz;*  
STHI Tagung, Oberwiesenthal, GUC, 2011 , 2011. ISBN 978-3-86367-003-0

**SCHMIDT, U.; MALEKIAN, K. ; SCHUFFT, W.;**

*Transients by Switching of Filter Banks at High-Voltage Grid;*  
ISH - International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover/VDE-Verlag GmbH, 2011. ISBN 978-3-8007-3364-4

**SCHMIDT, U.; SCHUFFT, W.; XU,L.;**

*Determination of the Breakdown Voltage of PE/PVC Materials for Application for the High-Voltage Cable Sheath;*  
ISH - International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover/VDE-Verlag GmbH, 2011. ISBN 978-3-8007-3364-4

**SHIRVANI A.; MALEKIAN, K. ; SCHMIDT, U. ; SCHUFFT, W.;**

*Failure risk Calculation of Lightning Overvoltages on High Voltage Overhead Lines Using EMTP and MATLAB;*  
ISH - International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover/VDE-Verlag GmbH, 2011. ISBN 978-3-8007-3364-4

**KRELL, S.; SCHUFFT, W.; SCHNEIDER, R.; RÖBER, M.; KAHL, S.;**

*Free Virtual Impuls Generator (VIG) to determine the Impuls Generator settings online;*  
ISH - International Symposium on High Voltage Engineering, Hannover/VDE-Verlag GmbH, 2011. ISBN 978-3-8007-3364-4

**TEUSCHER, J.; KÜHNERT, D.; ZEISING, V.;**

*Loss-optimized management in low-voltage grids based an an incentive signal;*  
University of West Bohemia, Pilsen, 2011. ISBN 978-80-261-0010-2

**TEUSCHER, J.; GÖTZ, A. ; SCHUFFT, W.;**

*Electric vehicles and their effects in low-voltage grids;*  
ICREPO'11, Las Palmas de Gran Canaria, www.icrepq.com, 2011. ISBN: 978-84-614-7527-8

## Externe Aktivitäten und Kontakte

### Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien

25. Januar	Sitzung AK SC D1	Prof. Schufft	Kassel
23. - 24. März	Sitzung VDE - Arbeitskreis (Teilentladungen MS-Kabel)	Barsch, Krell	Nürnberg
13. - 15. April	Intern. Conference on Renewable Energy and Power Quality ICREPQ'11	Teuscher	Las Palmas
14. April	Mitteldeutscher Innovationstag	Götz, Malekian, Hoshmeh, Prof. Schufft	Dresden
17. - 18. April	ITG-Workshop Smart Grids Energie-Informationsnetze & Systeme	Teuscher	Bremen
23. - 27. Mai	Konferenz Environmental Impacts on Power Industry 2011	Paulitschke, Teuscher, Studenten Prof. Schufft	Spicak
09. Juni	RWE Sommerfest	Prof. Schufft	Berlin
22. - 25. August	ISH 2011	Shirvani, Schmidt, Krell	Hannover
01. September	Vortragsreihe enviaM: Herausforde- rungen zum Betrieb von Netzen mit hohem Einspeiseranteil	Götz	Leipzig
28. Oktober	1. Workshop Dezentrale Energie- speichertechnologien	Dr. Bocklisch, Prof. Schufft u. a.	Chemnitz
08. November	5. enviaM Energiekonvent	Prof. Schufft	Leipzig
08. - 09. November	ETG-Kongress 2011	Teuscher, Götz	Würzburg
22. - 23. November	5. Intern. Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2010	Dr. Bocklisch	Berlin

## Gäste an der Professur

05. Januar	Herr Kleinlein	BMCM Berlin
15. März	Herr During	Envia Verteilnetz GmbH
22. März	Herren Dr. Kornhuber, Dr. Eltze	Doble Lemke GmbH, Kesselsdorf
23. März	Herr Hergert	Landratsamt Vogtlandkreis
30. März	Herr Boone	KEMA NL
30. März	Herren Sebregts, Steentjes	Liander NL
13. April	Herr Dr. Bergmann	HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH
27. April	Herr Übelacker	ENERCON, Aurich
27. April	Herr Lorenzen	N-Transfer GmbH, Wilhelmshaven
19. Mai	Herr Noske	envia Verteilnetz GmbH
01. Juni	Herr Dietrich	DiSUN Management & Service GmbH, Werder
08. Juni	Herr Hierl	Heliocentris Energiesysteme GmbH, Berlin
16. Juni	Herr Schiffel	SIEMENS AG
21. Juni	Herren Bätzner, Blasofszky	STÖBER Antriebstechnik GmbH & Co. KG
22. Juli	Herr Prof. Al-Masri	Al-Bath University Homs, Syrien

<i>25. Juli</i>	Herren Kunz, Wetzke	Paper + Design GmbH tabletop, Wolkenstein
<i>26. Juli</i>	Herr Prof. Mühlbacher	Westsächsische Universität Pilsen, CZ
<i>10. August</i>	Herr Prof. Menke	a + f GmbH, Würzburg
<i>27. Oktober</i>	Herr Brabandt	E.ON edis AG, Frankfurt/O.
<i>01. November</i>	Herren Prof. Li Dayong, Prof. Xi Zhaohui	Harbin university of Science & Technology, China
<i>15. November</i>	Herr Moehlmann	Alcatel-Lucent Deutschland AG, Nürnberg
<i>17. November</i>	Herren Dr. Heine, Neumann	ENSO AG, Dresden
<i>17. November</i>	Herr Prof. Bobojanow	TU Taschkent, Usbekistan

## Höhepunkte

### 20.000 € für Arbeiten auf dem Gebiet der Schmelzsicherungs-Forschung am 05. April 2011

Auf der Hannover-Messe 2011 übergab der Verein zur Förderung des umweltgerechten Recycling von abgeschalteten NH/HH-Sicherungseinsätzen e.V. (NH/HH-Recyclingverein e.V.) Spenden mit einer Gesamtsumme von 270.000 Euro an zehn führende deutsche Universitäten, Hochschulen und Institute, um deren Aktivitäten im Bereich der Forschung zu Schmelzsicherungen und deren Komponenten zu würdigen. Den entsprechenden Spendenscheck in Höhe von 20.000 € Euro konnte Prof.



Schufft mit sichtbarer Freude in Empfang nehmen. Wir bedanken uns für diese großzügige Spende, die wir zweckdienlich verwenden werden.

### Exkursion Spicak - Studentenaustausch TU Pilsen 23. - 27. Mai 2011

Auch in diesem Jahr führten wir nun schon in der 14. Auflage unseren Austausch mit der TU Pilsen (CZ), der TU Kosice (SK), der TU Graz (A) sowie der FH Zwickau durch. Wie auch schon im Vorjahr trafen wir uns in Spicak am Bayerischen Wald. Neben Prof. Schufft, Herrn Paulitschke und Herrn Teuscher nahmen noch fünf Studenten der TU an diesen erlebnisreichen Tagen teil. Auch in diesem Jahr teilte sich die Veranstaltung in Exkursionen sowie in Fachvorträge. Bei den Fachvorträgen hatten auch wir wieder zwei Beiträge. Dabei stellte Herr Paulitschke die Herausforderungen bei der Auslegung von Hybridspeicher-Systemen vor und Herr Teuscher gab einen Überblick über einen Energiemanagement-Algorithmus für zukünftige Niederspannungsnetze.

Die Exkursionen führten uns dieses Jahr zum einen zu Anlagen im Bereich der erneuerbaren Energien (Wasserkraftwerk, Kraft-Wärme-Kopplungsanlage auf Biomassebasis) sowie zu effizienten Anlagensystemen (Flughafen München).

An den Abenden frischten wir in geselliger Runde alte Kontakte auf und fanden auch einige neue, sodass wir uns auch schon auf die Wiederholung im Jahr 2012 freuen.

## Exkursionstag am 22. Juni 2011, Burg Kriebstein

An einem warmen Tage im Juni, war die beschauliche Gegend um die Burg Kriebstein unser Ziel für die diesjährige Exkursion. Ohne große sportliche Herausforderungen stand die berufliche Weiterbildung in einem Kleinkraftwerk der Talsperre Kriebstein im Mittelpunkt.

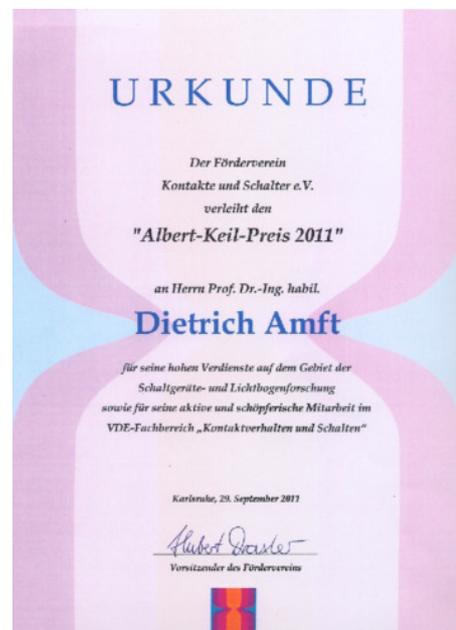
Dabei wurde die Spannungsregelung eines Generators aus dem Jahre 1926 fachgerecht analysiert.

Die Gaststätte an der Talsperre ermöglichte einen kleinen Imbiss, der nach den auszehrenden Diskussionen notwendig war. Am Nachmittag stand die Besichtigung des Papierwerkes im Ort Kriebstein auf dem Programm. Interessant war zu sehen, wie altes Papier zu einer grauem Pampe verrührt wird, um dann in strahlend weißes Qualitätspapier verwandelt zu werden. Sammelt Altpapier!



## Albert-Keil-Preis 2011 für Prof. Dr.-Ing. habil Dietrich Amft am 29. September 2011

Anlässlich der VDE-Fachtagung Kontaktverhalten und Schalten „Albert Keil Seminar“ in Karlsruhe wurde der „Albert-Keil-Preis 2011“ vom Förderverein Kontakte und Schalten e.V. an Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dietrich Amft verliehen. Mit dieser hohen Auszeichnung werden seine Verdienste auf dem Gebiet der Schaltgeräte und Lichtbogenforschung gewürdigt. Wir gratulieren ihm an dieser Stelle für die Auszeichnung.



## Workshop „Systemintegration von erneuerbaren Energien und Energiemeteorologie“ am 27. Oktober 2011

Im Kleinen wie im Großen - die Herausforderungen der anstehenden Energiewende sind enorm. Konzepte zur Bewältigung dieser Zukunftsaufgabe gelten daher als das momentan wohl aktivste Forschungsthema weltweit. Am 27. Oktober 2011 beleuchtete der Workshop "Systemintegration von erneuerbaren Energien und Energiemeteorologie" an der TU Chemnitz aktuelle Ergebnisse der Wissenschaft - eben von sehr spezifischen Fragestellungen wie denen nach geeigneten Prognoseverfahren für regenerative Energien bis hin zu Szenarienanalysen, die das Energiesystem als Ganzes betreffen.



Entsprechend gemischt gestalteten sich die Vorträge der Referenten. Dr. Thilo Bocklich von der gastgebenden TU begann mit der Darstellung des dezentralen Ansatzes, wie er in der Nachwuchsforschergruppe "Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme" untersucht wird. Die Idee dahinter ist, mehrere Energiespeicher und -wandler in einem Haus oder einem größeren Verbund so zu koppeln, dass sich sowohl technisch als auch ökonomisch ein Nutzen ergibt.

Als erster Gastreferent trat Carsten Hoyer-Klick vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Stuttgart vor die über 80 Teilnehmer des Workshops. Das DLR ist maßgeblich an der Erstellung der so genannten Leitstudien beteiligt, welche die Analyse der möglichen Entwicklung des Energiesystems in Deutschland bis ins Jahr 2050 zum Gegenstand haben. Hoyer-Klick gab ebenfalls einen Einblick in die komplexen Modelle, die bei der Bewertung der geschilderten Szenarien zum Einsatz kommen. Eine angeregte Diskussion entspann sich im Anschluss zwischen Prof. Volker Quaschnig von der Hochschule für Technik und Wirtschaft in Berlin und den Zuhörern. Quaschnig hatte in einem sehr lebhaften und nicht minder humorvollen Vortrag seine Sicht auf die Entwicklung und die Chancen der erneuerbaren Energien, insbesondere der Photovoltaik dargelegt. Mit seiner These, dass der jährliche Zubau der PV-Leistung in Höhe von 6 bis 8 GW für die kommenden drei Jahrzehnte fortgeschrieben werden muss und kann, um eine vollständig regenerative Elektrizitätsversorgung in Deutschland zu ermöglichen, erntete er nicht ausschließlich Zustimmung. Quaschnig entpuppte sich als der Mutmacher dieses Workshops, indem er mit dem netzgekoppelten Batteriesystem und der photovoltaischen Heizungsunterstützung ebenso konkrete technische Lösungen für die Integration von Solarstrom anbot. Die Energiemeteorologie als wichtiger Baustein der Systemintegration von stark fluktuierenden Erzeugern, wie es die erneuerbaren Energien sind, bildete den Schwerpunkt im zweiten Teil des Workshops. Dr. Elke Lorenz von der Universität Oldenburg konnte verdeutlichen, dass eine hohe Prognosegüte zukünftig immer notwendiger wird - beispielsweise zur Minimierung der teuren Regelleistung. Wie sie ging auch Yves-Marie Saint-Drenan vom Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik in Kassel besonders stark auf den durch Photovoltaik erzeugten Strom ein. Zum Abschluss referierte Alexander Arnoldt vom Fraunhofer Anwendungszentrum Systemtechnik in Ilmenau über Verfahren zur Modellierung und Vorhersage der Leistung einer Windkraftanlage.

## Verabschiedung Frau Wickleder am 30. Oktober 2011

Wir haben Frau Wickleder, unsere langjährige Sekretärin, an den Ruhestand verloren. Damit sie diesen in Ruhe, im Grünen und in der Sonne genießen kann, platzierten wir eine grob gehauene Holzbank in ihrem Garten. Wir hoffen, dass sie des Öfteren den Weg von dieser Bank zu uns findet und dem Einen oder Anderem die Leviten liest.

### *Leviten lesen:*

Leviten, alttestamentarisches Volk, das im Tempel zu



Jerusalem für den Tempeldienst verantwortlich war und dafür sorgte, dass alle Regeln eingehalten wurden. Die Regeln sind im dritten Buch Mose (lateinisch: Leviticus) wiedergegeben. (Lesestoff für lange Abende!)

## Treffen der VDE-AG „Isolationskoordination“ vom 04. November 2011

Die Arbeitsgruppe „Isolationskoordination“ des VDE-Bezirksvereins Dresden mit Fachleuten aus von Hochspannungs- und Mittelspannungs-Netzbetreibern sowie universitären Einrichtungen trafen sich im November zur turnusmäßigen Sitzung. Themen waren:

- Überspannungen beim Schalten von SF6-Leistungsschaltern (Dr.-Ing. Leu, TUI)
- Auswertung von Störungen an 110-kV-Transformatoren (Wartschinski, TEAG)
- Netzmessungen in Umspannwerksbereich Mühlhausen“ (Schwabe, TEAG)
- Subharmonische Schwingungen in EVN“ (Schmidt, TUC)

## 5.000 Euro für herausragende naturwissenschaftliche Dissertation am 11. November 2011 an Dr. Thilo Bocklisch

Der Dresdner Gesprächskreis der Wirtschaft und der Wissenschaft e. V. vergibt seit 2001 jährlich einen Preis für Nachwuchswissenschaftler auf dem Gebiet der Naturwissenschaften, der mit einem Preisgeld in Höhe von 10.000 Euro dotiert ist. Die Technischen Universitäten Chemnitz und Dresden sowie die TU Bergakademie Freiberg waren 2011 aufgefordert, Preisträger vorzuschlagen, die eine hervorragende Doktorarbeit zur Thematik "Energie" vorgelegt und verteidigt haben. Die Jury, bestehend aus Vertretern aller drei Universitäten, entschied sich, den Preis in diesem Jahr zu teilen. Ausgezeichnet wurden am 11. November 2011 Dr. Thilo Bocklisch von der TU Chemnitz und Dr. Jan Meiß von der TU Dresden. Beide Preisträger erhielten jeweils 5.000 Euro. Bocklisch hat auf dem Fachgebiet Elektrotechnik und Informationstechnik promoviert und seine Arbeit zum Thema Optimierendes Energiemanagement von Brennstoffzelle-Direktspeicher-Hybridsystemen geschrieben. Meiß promovierte auf dem Fachgebiet Physik zum Thema "New Material Concepts for Organic Solar Cells".

## Weihnachtsfeier am 15. Dezember 2011

Auch in diesem Jahr trafen wir uns in der Vorweihnachtszeit in geselliger Runde. Dadurch wurde uns auch die Möglichkeit geboten, zuvor die Atmosphäre des Chemnitzer Weihnachtsmarktes zu genießen. Es war wieder ein gelungener kulinarischer Abend, bei welchem auch unsere ausländischen Kollegen einen Einblick in die traditionelle Weihnacht erlangten.



## Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik



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

Praktika:  
Funkenstrecken

Erzeugung und  
Messung hoher Gleich-  
und Wechselspannungen



Abbildung: Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200kV

Praktikum:  
Isolatoren



Praktikum:  
Verlustfaktormessung  
( $\tan \delta$ )

**Abbildung:** Geschirmte Messkabine zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung



Praktikum:  
Erzeugen von Stoßspannungen/  
Einfluss der Elemente des  
Stoßspannungsgenerators

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



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



**Abbildung:** Mobiles Resonanzprüfsystem zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung und Spannungsprüfung

## **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 Mittelspannungspotenzial

### 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  $\mu\text{F}$   
 Frequenzbereich 5 Hz - 50 kHz

### Digitales Teilentladungsmess- und Diagnosesystem LDS-6

TE-Messbereich 1 -  $10^5 \text{ pC}$   
 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 $\mu\text{s}$  bis 10 kV

### Spannungsmessteiler

Ohmsche Teiler bis 200 kV  
 Kapazitive Teiler bis 300 kV  
 Stoßspannungsteiler bis 600 kV (1,2/50 $\mu\text{s}$ )

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

### Transientenrecorder

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

Femtoamperemeter

Lichtmikroskop mit Rechneranschluss und Videoeinrichtung

Magnetfeldmesseinrichtung mit Rechneranschluss bis 10 kHz

Dosisleistungsmessgerät 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  $\mu\text{T}$ , 10  $\mu\text{T}$ , 100  $\mu\text{T}$ , 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 transienter Netzvorgänge der Energieversorgung

### EMTDC/PSCAD

Simulation dynamischer und transienter Netzvorgänge mit leistungselektronischen Betriebsmitteln in Elektroenergiesystemen

### CSM 53

Feldberechnung von Isolieranordnungen mit Ein- und Zweistoffsystem

### Elektra 3.95.3

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/>

## Dienstleistungen

### 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

### Diagnose

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)

### Prüfung der Stromtragfähigkeit

Widerstandsmessungen von Hauptstrombahnen  
 Hochstromprüfungen, Erwärmungsprüfungen

- Leiteranordnungen
- Geräte
- Schaltfelder

bis 2000 A (größere Ströme auf Anfrage)

### Spezielle Messaufgaben

Messung magnetischer Felder (5 Hz bis 30 kHz [3 dB]; MB: 100 nT, 1  $\mu$ T, 10  $\mu$ T, 100  $\mu$ T, 1 mT, 10 mT)  
 Messung elektrischer Felder (100 kHz bis 3 GHz; MB: 1 bis 800 V/m – 0,0027 bis 1700 W/m<sup>2</sup>)  
 Messung elektromagnetischer Felder  
 Messungen mit Isoliermessverstärkern  
 Berührungslose Bewegungsmessung (Laserdistanzmessung)  
 Mikroschnitte von PE-Kabeln zum Nachweis von Wasserbäumchen (water trees)

## **Virtueller Stoßspannungsgenerator**

zur Simulation des Einflusses der Elemente des Stoßkreises auf den Spannungsverlauf

## **Netzanalysen**

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

Netzverlustanalysen

Versorgungszuverlässigkeit

Netzoptimierung

## 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

Lastprognose

- 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
- Alstom Grid

**SIEMENS**

**eins**  
energie in sachsen



**HIGH  
VOLT**

Teilgebiete		Elektrische Energietechnik			Hochspannungstechnik		
Inhalt		Regenerative Energiequellen	Energie-management	Elektroenergie-systeme	Beanspruchung von Betriebsmitteln	Überspannungen u. Isolationskoordination	Geräte- und Isoliertechnik
<b>Semester</b>		<b>Bachelor-Studiengang Elektrotechnik</b>					
<b>Modularisierte Bachelor-Master-Studiengänge</b>	3.	Elektrische Energietechnik 2 1 0					
	4.						
<b>Basismodul (Pflicht)</b>	5.					Hochspannungstechnik 3 1 2	
	6.	Umwelt- und Ressourcenökonomik II 2 0 0		Elektroenergieübertragung und -verteilung 3 1 2			Netze und Betriebsmittel 2 1 0
<b>Vertiefungsmodul (Pflicht, Wahlpflicht, Wahl)</b>	<b>Bachelorarbeit</b>						
	<b>Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme</b>						
<b>Ergänzungsmodul (Pflicht, Wahlpflicht, Wahl)</b>	7.	Regenerative Energietechnik I 2 1 0		Beanspruchung von Betriebsmitteln 3 1 1			
		Elektroenergiewirtschaft 1 0 0					
	8.	Regenerative Energietechnik II 1 0 1		Netzplanung und Schutztechnik 2 0 0			Statistik und Isolationskoordination 2 1 0
						Diagnose- und Messtechnik 2 0 0	
	9.	Praktikum					
	10.	Masterarbeit					
<b>Forschungsschwerpunkte</b>							
		Asset-Management			Zustandsbewertung von Betriebsmitteln		
		Netzanschluss leistungsstarker Windparks					
		Probabilistische Netzplanung für dezentrale Einspeisung					
		Dezentrale Erzeuger-, Speicher- und Verbrauchersysteme			Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem		
<b>Vision:</b>	<b>Kompetenzzentrum für technische Belange der regionalen Energieversorgung</b>						

