

**Adresse:**

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

**Dienstsitz:**

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

**Homepage:**

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

**Anfahrt:**

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

**Telefon, Fax, E-mail:**

Name:	Telefon:	Fax:	E-mail:
Prof. W. Schufft	+49 371 531 33343	+49 371 531 833343	wolfgang.schufft@etit.tu-chemnitz.de
Prof. D. Amft	+49 371 531 33341	+49 371 531 833341	dietrich.amft@etit.tu-chemnitz.de
Sekret.: Stef. Storck	+49 371 531 39133	+49 371 531 833142	stefanie.storck@etit.tu-chemnitz.de
Sekret.: Antje Voit	+49 371 531 33142	+49 371 531 833142	antje.voit@etit.tu-chemnitz.de
Dr. T. Bocklisch	+49 371 531 32133	+49 371 531 832133	thilo.bocklisch@etit.tu-chemnitz.de
M. Böttiger	+49 371 531 33445	+49 371 531 833445	michael.boettiger@etit.tu-chemnitz.de
A. Göhlich	+49 371 531 38344	+49 371 531 838344	anne.goehlich@et.it.tu-chemnitz.de
A. Götz	+49 371 531 37199	+49 371 531 837199	andreas.goetz@etit.tu-chemnitz.de
A. Gürlek	+49 371 531 39859	+49 371 531 839859	akif.guerlek@etit.tu-chemnitz.de
S. Hadid	+49 371 531 38579	+49 371 531 838579	suleiman.hadid@etit.tu-chemnitz.de
A. Hoshmeh	+49 371 531 38717	+49 371 531 838717	abdullah.hoshmeh@etit.tu-chemnitz.de
D. Kühnert	+49 371 531 39939	+49 371 531 839939	david.kuehnert@et.it.tu-chemnitz.de
J. Lippold	+49 371 531 33341	+49 371 531 833341	juergen.lippold@etit.tu-chemnitz.de
K. Malekian-Boroujeni	+49 371 531 37648	+49 371 531 837648	kaveh.malekian-boroujeni@etit.tu-chemnitz.de
St. Merkel-Krell	+49 371 531 38725	+49 371 531 838725	stefan.merkel-krell@et.it.tu-chemnitz.de
M. Paulitschke	+49 371 531 39395	+49 371 531 839395	martin.paulitschke@et.it.tu-chemnitz.de
A. Shirvani-Boroujeni	+49 371 531 37186	+49 371 531 837186	ali.shirvani-boroujeni@etit.tu-chemnitz.de
M. Stark	+49 371 531 33364	+49 371 531 833364	michael.stark@etit.tu-chemnitz.de
J. Teuscher	+49 371 531 37752	+49 371 531 837752	jens.teuscher@et.it.tu-chemnitz.de

**Redaktion:**

Andreas Götz

**Titelfoto:**

Windpark Middelgrunden vor Kopenhagen (Foto: Dr. Steffen Hetzel - ehem. Mitarbeiter)

# 1 Vorwort

Sehr geehrte Freunde und Partner,

das Jahr 2013 geht dem Ende entgegen und es wird Zeit zu resümieren, was konnten wir leisten, was hat uns bewegt.

Unsere Aktivitäten in der Forschung waren durch Kontinuität geprägt, gemessen an der Anzahl von Veröffentlichungen, am Drittmiteileinkommen und am Personalbestand. Neue Herausforderungen ergeben sich in der Lehre. Trotz eher stagnierender Studentenzahlen in den klassischen Studiengängen, sind doch die Lehrveranstaltungen der Professur so gut besucht, wie noch nie. Insbesondere die Studenten interdisziplinäre Studiengänge, wie Wirtschaftsingenieurwesen und Nachhaltige Energieversorgungstechnologien, entwickeln eine starke Affinität zur Elektrischen Energietechnik. Die Energiewende ist bei den jungen Menschen angekommen. Dieser erfreuliche Umstand stellt die Mitarbeiter der Professur vor neue Herausforderungen, insbesondere bei der Betreuung von Praktika und studentischer Arbeiten. Andererseits ist Interdisziplinarität eine Herausforderung, der wir uns gern stellen.



Die ESF-Nachwuchsforschergruppe "fahrE - Konzepte für multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien", in der wir mit Herrn David Kühnert vertreten sind, arbeitet zielstrebig. Zum Ende des Jahres wurden vier E-Smarts und acht Pedelecs geliefert. So werden wir die Standorte der Universität ab dem Frühjahr elektromobil erreichen, unter Verwendung eines erhöhten Anteils an regenerativer Energie.

Im Verlaufe des Jahres wurde Frau Antje Voit Mutter eines Sohnes und Herr Merkel-Krell Vater eines Sohnes. Wir wünschen den jungen Familien viel Glück.

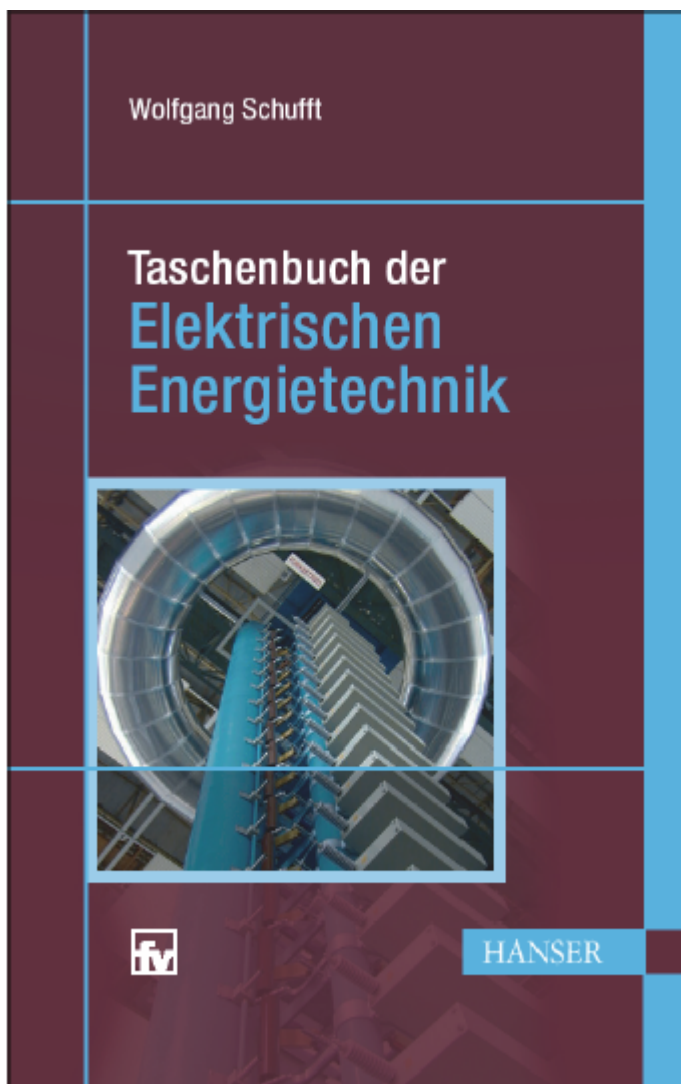
Zur Mitte des vergangenen Jahres konnte die Rekonstruktion des Weinholdbaus samt seiner Außenanlagen planmäßig abgeschlossen werden. Damit haben sich unsere Arbeitsbedingungen deutlich verbessert. Insbesondere haben sich Ausweichquartiere für die Lehre erübrigt. Allerdings entstehen erfreulicherweise neue Gebäude um den Weinholdbau herum, d.h. unser Campus wächst und gedeiht sichtbar.



Wir sehen dem kommenden Jahr 2014 optimistisch entgegen. Wir wünschen auch Ihnen viel Glück, Erfolg und persönliches Wohlergehen und freuen uns auf eine weitere, gute Zusammenarbeit.

Chemnitz, Dezember 2013

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. Elektroenergieanlagensicherheit (K.-H. Freytag, P. Schegner)
11. Elektroenergiewirtschaft (N. Menke)

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Vorwort .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Personelle Besetzung .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Lehre .....</b>	<b>7</b>
3.1	Studienablaufplan im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik und im Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme .....	7
3.2	Beschreibung der Lehrfächer der Professur .....	8
<b>4</b>	<b>Forschung .....</b>	<b>10</b>
4.1	Schwerpunkte .....	10
4.2	Aktuelle Promotionsvorhaben .....	12
<b>5</b>	<b>Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten .....</b>	<b>42</b>
5.1	Bachelorarbeiten.....	42
5.2	Masterarbeiten .....	43
5.3	Diplomarbeiten .....	43
5.4	Dissertationen.....	43
<b>6</b>	<b>Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge.....</b>	<b>44</b>
<b>7</b>	<b>Externe Aktivitäten und Kontakte .....</b>	<b>45</b>
7.1	Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien .....	45
7.2	Gäste an der Professur.....	46
7.3	Höhepunkte .....	47
<b>8</b>	<b>Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik.....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>Laborausstattung .....</b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>Dienstleistungen .....</b>	<b>58</b>
10.1	Dielektrische Prüfungen.....	58
10.2	Diagnosemöglichkeiten.....	58
10.3	Prüfung der Stromtragfähigkeit .....	58
10.4	Spezielle Messaufgaben.....	58
10.5	Virtueller Stoßspannungsgenerator.....	59
10.6	Netzanalysen.....	59
<b>11</b>	<b>Referenzen.....</b>	<b>60</b>

## 2 Personelle Besetzung



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



Dr.-Ing. Thilo Bocklich  
Habilitand



Dipl.-Ing. Michael Böttiger  
Doktorand



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



M. Sc. Anne Göhlich  
Doktorandin



Dipl.-Ing. Andreas Götz  
Doktorand



Kerstin Grünert  
Finanzen NFG IDE bis 05/13



Dipl.-Ing. Akif Gürlek  
Doktorand



M.Sc. Suleiman Hadid  
Doktorand



B.Sc. Abdullah Hoshmeh  
Doktorand



Dipl.-Ing. David Kühnert  
Doktorand



Jürgen Lippold  
Technischer Angestellter



M.Sc. Kaveh Malekian-  
Boroujeni  
Doktorand



B.A. Antje Voit  
Sekretariat



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



Dipl.-Ing. Stefan Merkel-Krell  
Prüf- und Messingenieur



Dipl.-Ing. Martin Paulitschke  
Doktorand



Dr. rer. nat. Ralf Pietsch  
HIGHVOLT Dresden



Prof. Dr. rer. nat. habil.  
Udo Rindelhardt  
Lehrbeauftragter bis 06/13



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



M.Sc. Ali Shirvani-Boroujeni  
Doktorand



Michael Stark  
Technischer Angestellter



Stefanie Storck  
Sekretariat



Dipl.-Ing. Jens Teuscher  
Doktorand

### 3 Lehre

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

Lehrfach	Lehrverantwortlicher	Bachelor Elektrotechnik				Master Energie- u. Automatisierungssysteme	
		3. Sem.	4. Sem.	5. Sem.	6. Sem.	7. Sem.	8. Sem.
<b>Basismodule:</b>							
Elektrische Energietechnik/Nachhaltige Elektroenergieerzeugung	Schufft	2 0 0*					
Hochspannungstechnik	Schufft			3 1 2			
Elektroenergieübertragung u. -verteilung	Schufft				3 1 2		
<b>Vertiefungsmodule:</b>							
Netze und Betriebsmittel	Schufft				2 1 0		
Beanspruchung von Betriebsmitteln	Schufft					3 1 1	
Statistik und Isolationskoordination	Schufft						2 1 0
<b>Ergänzungsmodule:</b>					2 0 0		
Elektroenergiewirtschaft	Menke					1 0 0	
Netzberechnung und Schutztechnik	Fuchs						2 0 0
Diagnose- und Messtechnik	Pietsch						2 0 0

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

### 3.2 Beschreibung der Lehrfächer der Professur

#### Elektrische Energietechnik/ Nachhaltige Elektroenergieerzeugung

Basismodul im Bachelor-Studiengang Elektrotechnik, 3. Semester

Umfang: 15 Vorlesungen / 7 Übungen

##### **Prof. Schufft**

Inhalt: Energiebegriff, Überblick über das Elektroenergieversorgungssystem, Elektroenergieerzeugung in Wärmekraftwerken, Nutzung von Solarenergie, Elektroenergieerzeugung aus Wasserkraftwerken, Elektroenergieerzeugung aus Windenergieanlagen, Elektroenergieerzeugung aus Bioenergie, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

#### 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, Systematisierung der Betriebsmittel, Aufbau und stationäres Verhalten von Betriebsmitteln, wie Leitungen, Transformatoren, Kompensationsanlagen



**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

**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

**Elektroenergiewirtschaft**

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

Umfang: 7 Vorlesungen

**Prof. Menke**

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

**Netzberechnung und Schutztechnik**

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

Umfang: 15 Vorlesungen

**Dr. Fuchs**

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

**Diagnose- und Messtechnik**

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

Umfang: 15 Vorlesungen

**Dr. Pietsch**

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

## 4 Forschung

### 4.1 Schwerpunkte

Die Schwerpunkte in der Forschung orientieren sich an den Anforderungen der Übertragungs- und Verteilnetz-Betreiber sowie der Industrie des deutschen und internationalen Marktes. Entwicklungen mit hohem wissenschaftlichem Potential sind dabei auf dem Gebiet der Einbindung leistungsstarker Off-Shore-Windparks und Integration dezentraler Einspeiser zu verzeichnen. Als Folge des zunehmenden Kostendrucks auf die Netzbetreiber, verursacht durch die Regulierung des Energiemarktes, werden verbesserte Verfahren zur Entwicklung effizienter Instandhaltungs- und Erneuerungsstrategien sowie an diese Regularien angepasste Hilfsmittel notwendig. Die Integrationsmöglichkeiten von Speichersystemen für Elektroenergie zum Gelingen der Energiewende haben an Bedeutung gewonnen und weisen hohe Entwicklungspotentiale auf. In der folgenden Graphik sind die Forschungsschwerpunkte mit den entsprechenden Arbeitsgebieten der Professur aufgezeigt, welche ebenso die thematische Überschneidung von Forschungsinhalten wieder gibt. Nachfolgend werden die einzelnen Arbeitsgebiete näher beschrieben.



**Abbildung:** Forschungsschwerpunkte und Arbeitsgebiete der Professur

**Netzintegration der Elektromobilität**

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

**Modellierung zukünftiger Niederspannungsnetze:**

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

**Speichersysteme für eine nachhaltige Energieversorgung**

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

**Probabilistische Netzplanung:**

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

**Netzanbindung leistungsstarker regenerativer Erzeugungsanlagen**

- Einfluss großer Wind- und PV-Parks auf die Übertragungs- und Verteilungsnetze
- Implementierung leistungsstarker HVDC-Systeme
- Entwicklung geeigneter Modelle von Windenergieanlagen zur Beschreibung des Systemverhaltens

**Zustandsbewertung und Asset-Management**

- Lebensdaueranalysen von Anlagengütern in Bezug auf den Gesamtanlagenbestand
- Untersuchung der Auswirkungen auf die Restlebensdauer von Mittelspannungsmassekabeln durch Masseverarmung in Gefällestrrecken
- Optimierung von Instandhaltungsstrategien
- Labor-Untersuchungen an Mittelspannungskabeln und -garnituren und Isoliersystemen
- Mess-, Diagnose- und Prüfverfahren (Teilentladung, Verlustfaktor, Stufentests, Dauerversuch, ...)
- Modellierung von Betriebsmitteln
- Vor-Ort-Untersuchungen mit einem mobilen Diagnose- und Messsystem

**Ausgleichsvorgänge im Elektroenergiesystem**

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

**Isolationskoordination**

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

**Oberschwingungsverhalten regenerativer Erzeugungsanlagen**

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

## 4.2 Aktuelle Promotionsvorhaben

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

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

\* externe Promotion



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

Anne Göhlich

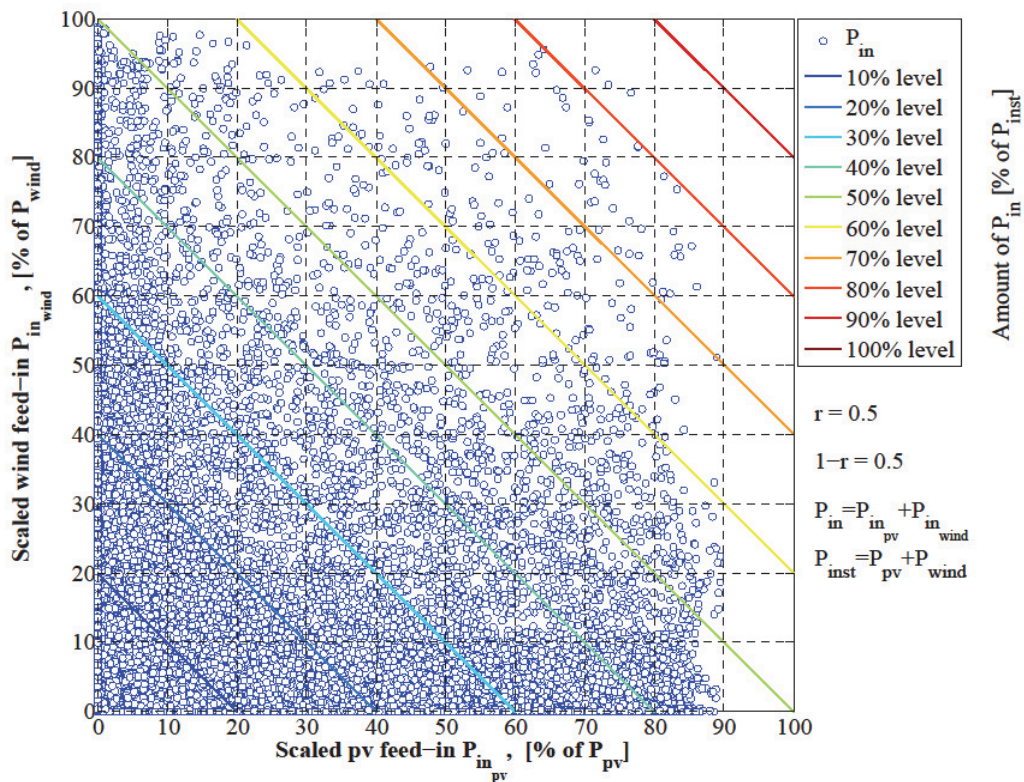
Verteilnetzbetreiber sehen sich in der Hoch- und Mittelspannungsebene aufgrund des anhaltenden Aus- und Zubaus des deutschen Energieversorgungssystems mit erneuerbaren Energien mit dem Problem der potentiellen Destabilisierung ihrer Energieversorgung konfrontiert. Insbesondere die Elektroenergie, die aus Solarstrahlung und Wind gewonnen wird, ist anfällig für Schwankungen, die sich wiederum in der Einspeisung widerspiegeln. Ein lokal auftretender Überschuss an Elektroenergie kann in einer Lastflussumkehr in die vorgelagerten Hoch- und Höchstspannungsnetze oder einer Abschaltung von Photovoltaikanlagen und Windenergieanlagen resultieren. Der umgekehrte Fall des lokalen Mangels an Elektroenergie ist ebenso problematisch.

Aus diesem Grund ist es von aktuellem Interesse zu wissen, wie häufig Zustände von Elektroenergieüberschuss und -mangel innerhalb eines Zeitraumes auftreten und wie lange sie andauern. Für Verteilnetzbetreiber und auch volkswirtschaftlich gesehen kann es unter Umständen wirtschaftlicher sein, einige wenige dieser Zustände zu ertragen und gegebenenfalls entsprechende Anlagen in ihrer Leistung zu reduzieren, als das Netz auf 100 % mögliche Einspeisung auszubauen, wie es bisher vom Gesetzgeber gefordert wird.

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

In diesem Jahr konnte ein genauer Eindruck von der Häufigkeit, den Zeitpunkten und der Dauer besonders niedriger und hoher (= extremer) zeitgleicher PV- und Windleistungseinspeisungen gewonnen werden. Hierfür wurden die Einspeisewerte der PV- und Windenergieanlagen von 10 Umspannwerken im jeweiligen Einzugsgebiet ausgewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Häufigkeit extremer Einspeisungen maßgeblich vom Verhältnis der installierten PV- und Windleistungen abhängt. Dieses Verhältnis wird mit Verhältnisfaktor  $r$  bezeichnet und gibt den Quotienten aus installierter PV- zu gesamt installierter Leistung an. Es hat sich herausgestellt, dass ein Verhältnisfaktor  $r$  von etwa 0,5 bezogen auf die sehr hohen gemeinsamen Einspeisungen optimal ist. In diesem Fall gibt es pro Jahr max. 5 Viertelstundenwerte mit PV- und Wind-Einspeisungen, die größer als 90 % der gemeinsam installierten Leistung sind. Die Anzahl der Einspeisungen unter 10 % kann stark reduziert werden im Vergleich zu besonders kleinen und besonders großen Verhältnisfaktoren  $r$ .



**Abbildung 1:** Verteilung der gemeinsamen Einspeisung mit Niveaulinien der Einspeisehöhe

Die Zeiten, in denen extreme Einspeisungen stattfinden sind ebenso abhängig vom Verhältnisfaktor  $r$ . So steigt mit größer werdendem Verhältnisfaktor  $r$ , also mehr installierter PV-Leistung im Vergleich zu Windleistung, die Jahres- und auch Tageszeitabhängigkeit der extremen Einspeisungen an. Das bedeutet, dass bei großem Verhältnisfaktor  $r$  besonders niedrige Einspeisungen verstärkt in den Herbst- und Wintermonaten auftreten, wohingegen bei kleinem Verhältnisfaktor  $r$  kein Muster in der Jahreszeitabhängigkeit erkennbar ist. Besonders hohe Einspeisungen treten bei großem Verhältnisfaktor  $r$  eher zwischen April und September auf, bei kleinem Verhältnisfaktor  $r$  eher in den verbleibenden Monaten. Analoge Aussagen können bezüglich der Tageszeitabhängigkeit gemacht werden.

Die Anzahl zusammenhängender Viertelstunden mit extremen Einspeisungen ist durchweg 1, d.h. es kam bei den untersuchten Daten nicht vor, dass zu mehreren Viertelstunden am Stück eine extreme Einspeisung erfolgt ist.

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



**Zukünftige Belastung von Niederspannungsnetzen unter Beachtung von Ladeszenarien für Elektrofahrzeuge**

Andreas Götz

**Inhalt**

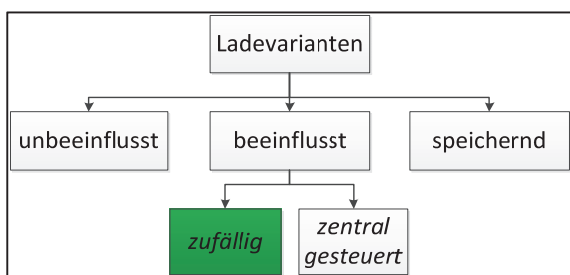
Mit Hilfe des Beitrages soll ein Teil der Forschungsarbeit der Professur für Energie- und Hochspannungstechnik der TU Chemnitz dargestellt werden. Dabei geht es um die Erarbeitung einer langfristig optimalen Netzplanung vorrangig für das Niederspannungsnetz. Um die Netzplanung nachhaltig zu gestalten, wurden im Rahmen einer Industriepromotion drei Bereiche - die Säulen der Netzplanung - untersucht.

**Methodik und Ergebnisse**

Die technisch relevante Säule bezieht sich dabei auf Aspekte wie zukünftige Verbraucher- und Einspeiserstrukturen charakterisiert werden können. Dazu zählen dezentrale Einspeiser, Neuerungen im Verbrauchersektor (Smart Home incl. Smart Meter) sowie Einflüsse durch zukünftige Elektrofahrzeuge als Verbraucher und Einspeiser. Dabei wurden die Entwicklungen des Elektrifizierungsgrades prognostiziert, Verbrauchergruppen bzgl. deren Verbrauchsverlagerungspotential klassifiziert und die entsprechenden Potentiale quantitativ ermittelt. Hieraus ließ sich ein sehr hohes Potential einer Verbrauchssteuerung für die elektrische Beheizung bzw. Kühlung erkennen. Dabei ist zu beachten, dass sich dieses hohe Potential auf einen sehr eingegrenzten Nutzerkreis bezieht, was für eine hohe Wirtschaftlichkeit eines möglichen zentralen Lastmanagements spricht.

Bzgl. der Auswirkungen der Elektromobilität hat sich allerdings gezeigt, dass eine aktive zentrale Steuerung von Ladevorgängen nicht grundsätzlich zwingend notwendig ist. So verringert sich mit einer passiven dezentralen Intelligenz (Pat.-Nr.: DE 10 2012 110 091.8 vom 23.10.2012) die Notwendigkeit einer zentralen Steuerung bzw. verzögert den Zeitpunkt deren Unabdingbarkeit stark. Hierbei wurden zahlreiche Simulationen zur Netzbelastung bei unterschiedlichen Durch-

dringungen von Elektrofahrzeugen in ausgewählten, realen Niederspannungsnetzen durchgeführt. Als Ergebnis der Forschung liegen nun quantitative Angaben vor, welche Aussagen zu den maximalen Durchdringungen von Elektrofahrzeugen in ausgewählten Niederspannungsnetzen treffen. In Abbildung 1 ist die prinzipielle Klassifizierung einer Ladeinfrastruktur dargestellt.



**Abbildung 1:** Ladeinfrastrukturvarianten

So lässt sich sicherstellen, dass ein effizienter Ressourceneinsatz bei der Bildung einer Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge erreicht werden kann. Es nicht zwingend erforderlich ist, ein zentral gesteuertes Informations- und Kommunikations-Managementssystem für die nächtliche Aufladung am privaten Standort aufzubauen und zu betreiben. Die durch Simulationen an realen Niederspannungsnetzen gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend zur Anwendbarkeit auf beliebige andere Niederspannungsnetze verallgemeinert.



### Messsystem zur Ermittlung des Blitzstromparameters Steilheit

Akif Gürlek

Bei einem Blitzeinschlag in eine Hochspannungs-Freileitung oder in deren Umgebung (durch elektromagnetische Induktion) entstehen große Überspannungen in stromführenden Systemen. Als Ergebnis entstehen Wanderwellen, die in angeschlossenen Betriebsmitteln auftreten und dort ein hohes Schadenpotential entwickeln. Um dieses zu ermitteln, sind die Blitzentladungen auf ihre Parameter hin zu untersuchen. Die elektrischen Parameter (Amplitude, Dauer, Steilheit) sind bisher gut erforscht. Allerdings im Großen und Ganzen für den Typ des Aufwärtsblitzes (Initiierung des Blitzes von der Erdoberfläche), da die meisten Forschungen an hohen Türmen, oder an durch Raketen getriggerten Blitzen durchgeführt wurden. Nach Berger [1] sind diese Varianten der Blitzmessung für die Aufwärtsblitze verantwortlich. Der Schwerpunkt dieser Arbeit soll sich der Erfassung der Abwärtsblitze (Initiierung durch Wolken) widmen, die den Großteil der Blitze ausmachen (80-90 % der real vorkommenden Blitzentladungen).

Um die Abwärtsblitze zu erfassen, gibt es bereits kommerzielle Systeme, die von Siemens (BLIDS) und dem österreichischen Pendant ALDIS zur Verfügung stehen. Allerdings messen sie nur die Amplitude des Blitzstromes und geben den Ort des Einschlages an. Weil Steuergeräte verwendet werden, beschränkt sich die Aufzeichnung auf die Stärke des Blitzes (Amplitude). Das entwickelte (und noch weiter zu entwickelnde) Messsystem basiert auf eine ähnliche Funktionsweise. Die bei Blitzentladungen entstehenden elektromagnetischen Felder, werden mit Hilfe von Antennen erfasst und aufgezeichnet. Wenn mehrere Empfänger/Sensoren genutzt werden, so lassen sich die Orte von Blitzeinschlägen (Prinzipien: Time Of Arrival, Direction Finder) ermitteln.

Für unsere Messungen der Blitzentladung werden zwei um  $90^\circ$  horizontal und vertikal versetzten Ringspulen verwendet, um durch Induktion den Blitzstrom zu ermitteln. Die Anordnung kann in der Abbildung 1 entnommen werden. Unterhalb der Plane (Regenschutz) befindet sich das Aufzeichnungsgerät (Oszilloskop). Diese sind in der Lage die Blitzentladung in Nano- und Mikrosekundenbereich aufzuzeichnen. Um die Aufzeichnungsgeräte zusätzlich zu schützen, sind weitere Schutzeinrichtungen installiert: Blitzauffangstangen, Ableiterdioden, u.a..

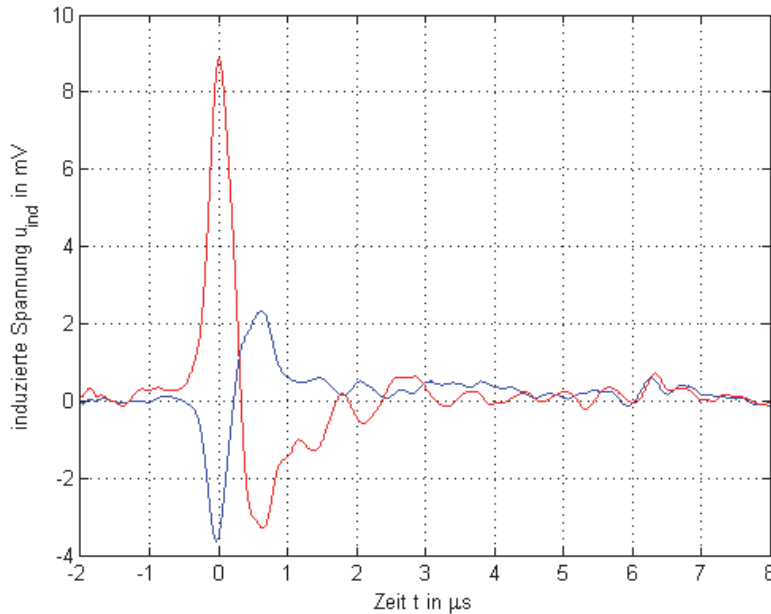


**Abbildung 1:** Messsystem zur Erfassung des Blitzstromes

Ein Messverlauf kann der Abbildung 2 entnommen werden. Hierin sind zwei Kurvenverläufe zu beobachten, die jeweils von einer Antennenschleife entstanden sind. Durch Kenntnis der Richtung des Einschlagortes lässt sich durch trigonometrische Beziehungen auf den Strom schließen. Wobei jede Schleife einzeln den Strom nachbilden kann. Zwei dieser sind nicht nötig. Beide Schleifen werden benötigt, um die Richtung des Einschlagortes zu bestimmen, falls dieser unbekannt ist. Sind mindestens zwei dieser Anlagen vorhanden, kann auch der Einschlagort bestimmt werden (Prinzip: Direction Finder). Der Einschlagort wird benötigt, um eine proportionale Größe – die Induktivität – zwischen der induzierten Spannung und



dem Strom zu bestimmen.



**Abbildung 2:** Ausschnitt einer Messung am 06. August 2013, 14:51:44.26 Uhr

Unter der Beziehung (Induktionsgesetz)

$$u_{ind} = \frac{d\Phi}{dt}$$

kann mit Hilfe formaler Gleichungen

$$\begin{aligned} \Phi &= \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \\ \vec{B} &= \mu\vec{H} \\ \vec{H} &= \int I \cdot d\vec{s} \end{aligned}$$

aus der induzierten Spannung der tatsächlich fließende Strom während einer Blitzentladung bestimmt werden.

Für die Fortführung des Projektes werden Verbesserungen am Messsystem durchgeführt. So wird beabsichtigt die Reichweite (bisher wenige zehn Kilometer) zu vergrößern. Des Weiteren muss das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert werden. Weiterhin sind Verbesserungen zur Erweiterung des Frequenzbereiches und der Erhöhung der Eigenfrequenz des Systems zu zählen, die in weiterführenden Arbeiten durchzuführen sind.

**Literatur**

[1] Berger, K.; Novel Observations on Lightning Discharges: Results of Research on Mount San Salvatore. In: Eidg. Technische Hochschule and High Voltage Research Committee. Zürich, Switzerland, 1967.



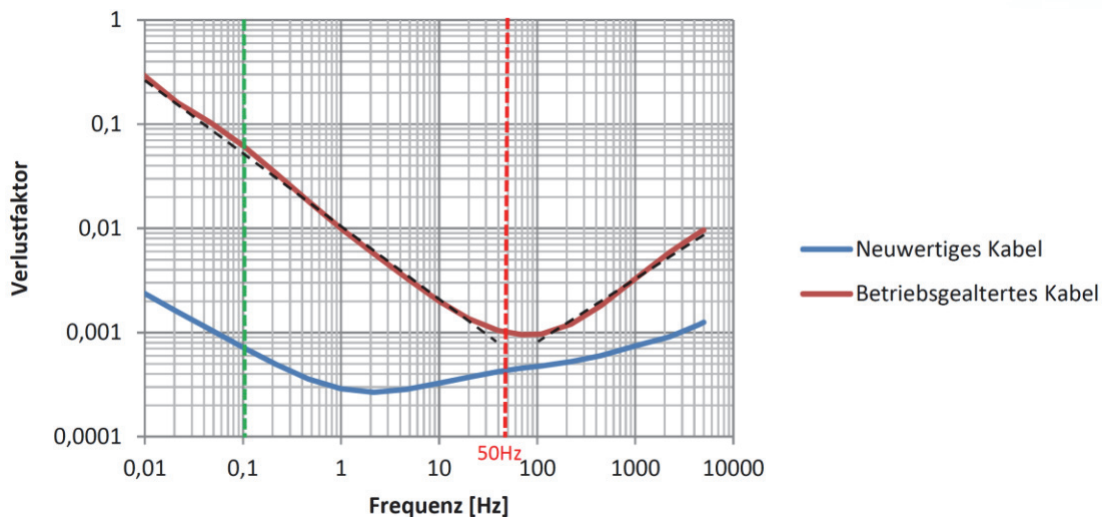
**Messung der Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors an PE/VPE- isolierten Kabeln**

Suleiman Hadid

Infolge der zunehmenden Belastung von Kabelnetzen durch dezentrale Einspeisung ist die Kenntnis über den integralen Zustand von Kabelsystemen unbedingt notwendig. Zur Einschätzung des Zustandes der Isolierungen von Betriebsmitteln wird unter Anderem der Verlustfaktor verwendet.

**Messung im Frequenzbereich [100µHz bis 5kHz]**

Der Verlustfaktor an kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln weist generell eine starke Frequenzabhängigkeit über den Frequenzbereich von 100 µHz bis 5000 Hz auf (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Verlustfaktor von neuwertigem und betriebsgealtertem VPE-Kabel

Der Verlauf des Verlustfaktors lässt sich durch zwei Geraden approximieren. Die Leitfähigkeiten der Isolierung und der beiden Leitschichten.

Bei der Betriebsfrequenz (50 Hz) wird der Verlustfaktor für betriebsgealterte Kabel durch die Leitfähigkeit der Hauptisolierung bestimmt, während er für neuwertige Kabel durch die Verschiebung des Minimums von den Leitfähigkeiten der Leitschichten dominiert wird.

Für eine Prüf- bzw. Diagnosefrequenz von 0,1 Hz, wird der Verlustfaktor nur durch den Einfluss der Leitfähigkeit der Hauptisolierung dominiert. Die Leitschichten haben nur einen geringen Einfluss.

Bei Frequenzen, über 100 Hz bis 5 kHz, dominieren die dielektrischen Verluste der Leitschichten. Dies stimmt mit dem Dreischichtmodell<sup>1</sup> überein.

Neben dem generellen Verlauf des Verlustfaktors über der Frequenz ist das Kabel systematischen Veränderungen über die Lebensdauer unterworfen. Die Alterung des Isolierstoffes PE

<sup>1</sup> S. Hadid, 2013; Frequency dependence of the dissipation factor of PE/XLPE-insulated medium voltage cables

bzw. VPE, z.B. durch thermische Beanspruchungen, bilden sich direkt im Verlustfaktor ab. Gründe liegen in der Änderung der molekularen Struktur, was meist zu einer stetigen Zunahme der Leitfähigkeit der Hauptisolierung führt. Ein weiterer Alterungsmechanismus - die Einwirkung von Wasser auf den Isolierstoff - hat ebenfalls großen Einfluss auf den Verlustfaktor.

Für die frequenzabhängige Messung des Verlustfaktors gibt es zufällige Einflussgrößen, welche die genaue Messung des Verlustfaktors beeinträchtigen könnten. Die größte Rolle spielt dabei die Temperatur der Kabelprobe. Diese ist beispielsweise bei ausgedehnten Kabelanlagen nicht eindeutig bestimmbar und ändert sich mit hoher Wahrscheinlichkeit über die Länge der Kabelanlage. Daneben können bei Vor-Ort Messungen evtl. elektromagnetische Störquellen wie äußere Teilentladungen (Korona) und 50 Hz-Einkopplungen anderer Betriebsmittel auf das Messobjekt eine Rolle für die Verlustfaktormessung spielen.

Für die Untersuchung wurden verschiedene Verlustfaktormessungen im Rahmen der Arbeit wiederholt, um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu überprüfen. Für die Messungen im Labor werden hierfür die Kabelproben mind. für 48 h bei Raumtemperatur (21...25 °C) gelagert. Dies gilt auch für das Messgerät.

#### **Störanfälligkeit der Messung bei verschiedenen Störquellen**

Die Erfassung des Verlustfaktors für Vor-Ort- bzw. Labormessungen können verschiedene Umgebungseinflüsse den Messfehler vergrößern. Insbesondere sollen die Einflüsse:

- Parasitäre Streukapazitäten
- Verschmutzung der Kabelproben
- Relative Luftfeuchtigkeit
- Erdung der Versuchsschaltung

auf die Messung untersucht werden.

Im Rahmen der vorgestellten Untersuchungen wurde der Einfluss von Wasserlagerung nicht berücksichtigt. In zukünftigen Messungen wird dieser Einfluss untersucht. Es ist zu erwarten, dass damit ein aussagekräftiger Vergleich zur heute hierfür empfohlenen 0,1 Hz-Diagnostik gezogen werden kann.

Die Einflussfaktoren auf die Verlustfaktormessung und Auffälligkeiten bei der Messung wie Verschmutzung der Kabelproben und Erdung der Versuchsschaltung müssen genauer untersucht werden.

Im direkten Vergleich zur heute üblichen Verlustfaktormessung bei einer bestimmten Frequenz (z.B. 0,1 Hz oder bei Resonanzfrequenz 25Hz-300 Hz) erreicht man mit der Messung über den hier untersuchten Frequenzbereich eine wesentlich höhere Qualität der Informationen und damit der Aussagen für eine Zustandsbewertung. Durch den ermittelten kabelspezifischen Verlauf des Verlustfaktors werden der fallende, der minimale und der steigende Bereich über der Frequenz dargestellt. Damit werden erstmals Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Verlustfaktors für die Betriebsfrequenz möglich.

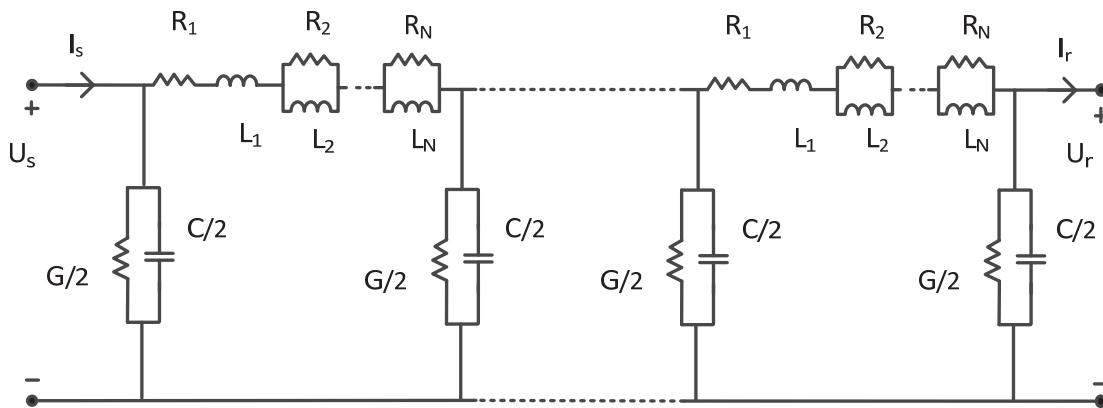


**Frequenzabhängige Modellierung von Hochspannungskabeln für die Simulation transienter Vorgänge im Zeitbereich**

Abdullah Hoshmeh

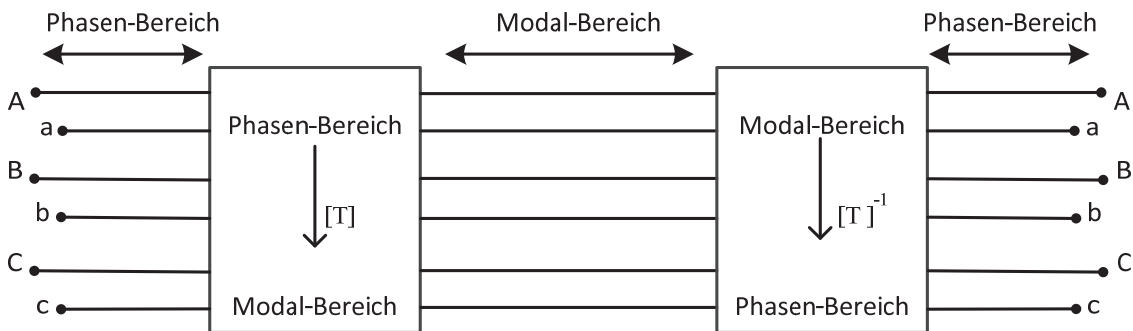
Das Elektroenergiesystem ist stör anfällig. Die Ursachen von diesen Störungen sind unterschiedlich, wie z.B. Schalthandlungen und Blitzeinschläge. Die dabei entstehenden transienten Vorgänge haben andere Verhältnisse als im stationären Zustand. Die Kabel, als Bestandteil des Elektroenergiesystems, sind von diesen Störungen betroffen. Deshalb ist eine genaue Modellierung von Kabel für die Simulation von transienten Vorgängen wichtig. Um eine genügende Genauigkeit zu erreichen, ist ein Modell mit einer guten Reproduktion des Verhaltens der Kabelparameter über den Frequenzbereich erforderlich. Hierbei muss die Frequenzabhängigkeit der Kabelparameter berücksichtigt werden.

Eine Methode zur Modellierung von Kabel basiert auf Lumped-Parametern. In diesen Modellen wird ein Kabel in der Regel durch eine Kaskadierung von p-Gliedern modelliert (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Einphasiges Kabelmodell mit Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit

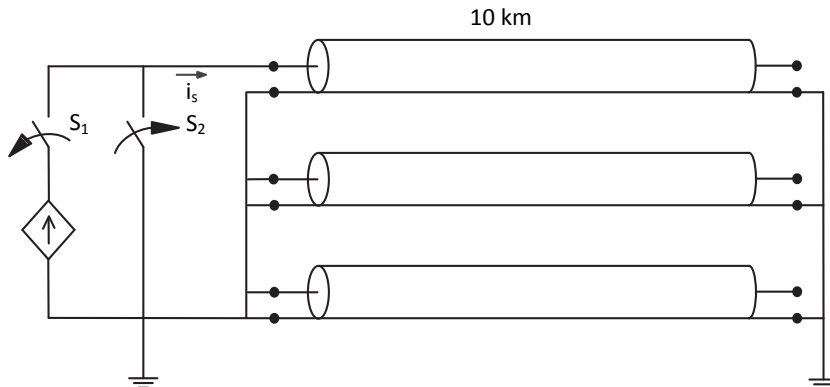
Mehrphasige Kabelberechnungen erfolgen mit Hilfe von Modaltransformationen (siehe Abbildung 2). Wobei A für Leitergrößen und a für Schirmgrößen steht. Die Transformation von Phasen-Bereich zu Modal-Bereich unter Verwendung der Modaltransformationmatrizen T dient der Entkopplung aller Phasen.



**Abbildung 2:** Prinzip der mehrphasigen Kabelberechnungen

Für jede Phase kann ein auf p-Glieder basierendes Kabelmodell (siehe Abbildung 1) im Modal-Bereich verwendet werden.

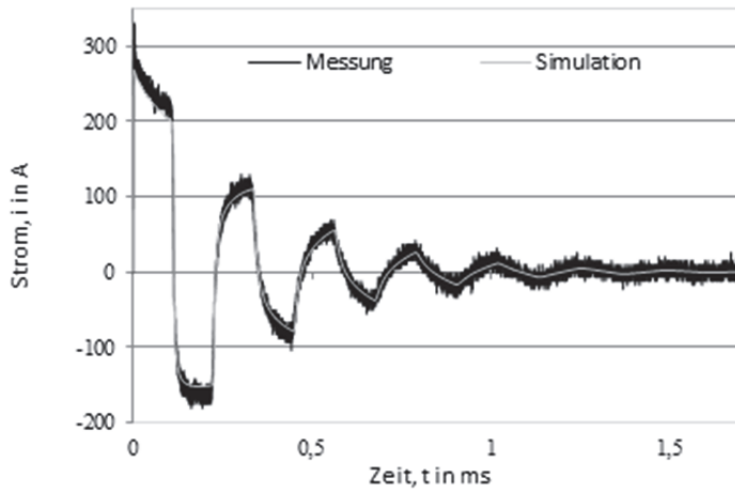
Zur Verifizierung des Kabelmodells wurde eine 20-kV-Kabelstrecke mit Hilfe einer Gleichstromquelle auf 5 kV einpolig aufgeladen (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Prinzip des Messaufbaus der Kabelmessungen

Danach wurde der Schalter  $S_1$  geöffnet und der Leistungsschalter  $S_2$  geschlossen. Dabei wurde der Entladungsstrom  $i_s$  gemessen.

Ein Vergleich zwischen dem gemessenen und simulierten Strom (bezüglich der Dämpfung und der Laufzeit) zeigt eine gute Übereinstimmung (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Strom



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

David Kühnert

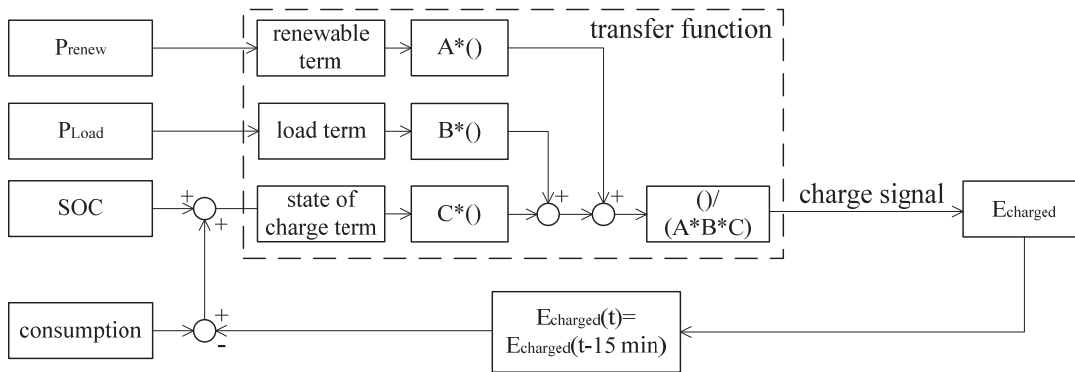
Im Rahmen der Nachwuchsforschergruppe „fahrE – Konzepte für Multimodale Mikromobilität unter Nutzung lokaler regenerativer Energien“ wird das Thema durch den europäischen Sozialfond (ESF) gefördert.

Die Endlichkeit fossiler Rohstoffe und die steigende Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre bedingen, dass sich die Energieversorgung und deren Nutzung verändern müssen. Der Mobilitätssektor verursacht einen sehr großen Anteil am Energieverbrauch und verursacht in Deutschland etwa 16 % des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes [1]. Eine nachhaltige Mobilität bedingt, dass somit die zum Fahren benötigte Energie aus alternativen Energiequellen bereitgestellt und zudem effizienter genutzt wird. Die Elektromobilität kann, aufgrund ihrer deutlich höheren Antriebseffizienz, einen wesentlichen Beitrag dazu leisten Energie einzusparen. Zudem kann die Fahrenergie aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Aufgrund der möglichen hohen Ladeleistungen von Elektrofahrzeugen können diese in Form von steuerbaren Lasten gezielt zu den Zeiten geladen werden, an denen ein hoher Anteil erneuerbare Energie zur Verfügung steht, oder überschüssige Energie verbraucht werden muss.

Untersuchungen [2] zeigen, dass Elektrofahrzeuge nur dann ökologisch und nachhaltig nutzbar sind, wenn die Fahrenergie aus erneuerbaren Energiequellen stammt. Um bereits heute einen möglichst nachhaltigen Betrieb zu gewährleisten, müssen die Ladezeitpunkte von Elektrofahrzeugen gesteuert werden. Nur dadurch kann ein besonders hoher Anteil der Fahrenergie durch erneuerbare Energien gewährleistet werden. Die im Rahmen des Projektes fahrE entwickelte intelligente Steuerung der Ladevorgänge erhöht die Nutzung lokaler regenerativer Energien, ohne dabei Verteilnetze zu überlasten. Zudem ist es im Rahmen eines Mobility-On-Demand-Konzept von grundlegender Bedeutung, dass mögliche Nutzer des Systems jederzeit auf verfügbare Mobilität zurückgreifen können. Um dies zu gewährleisten, muss die intelligente Ladesteuerung erkennen, wann es notwendig ist ein Fahrzeug zu laden um das Mobilitätsbedürfnis zu decken.

Die intelligente Ladesteuerung wurde für den Einsatz in fahrE weiter optimiert und kann durch die Erweiterung um einen Vorhersageteil den Anteil lokaler regenerativer Energie noch einmal wesentlich erhöhen. Dabei kann zu jeder Zeit Mobilität für die Nutzer des Mobility-On-Demand-Konzeptes ermöglicht werden.

Der Kern der Ladesteuerung basiert auf einem Ladsignal, welches durch die Transferfunktion eines Regelkreises beschrieben wird. Das Ladesignal regelt dabei den Ladezustand des Fahrzeuges und beachtet die Einflussparameter der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien  $P_{\text{renew}}$ , die aktuelle Netzlast  $P_{\text{Load}}$  und den aktuellen Ladezustand. Zusätzlich beachtet die Ladesteuerung das Nutzungsbedürfnis über einen kritischen Ladezustand.



**Abbildung 1:** Transferfunktion der Ladesteuerung – Ladesignal

Der kritische Ladezustand wird nicht auf einen bestimmten Wert festgelegt, sondern wird mit Hilfe einer Nutzungsprognose für jeden Zeitpunkt ermittelt. Zusätzlich werden die lokalen erneuerbaren Energieeinträge prognostiziert und simuliert. Die prognosebasierte Ladesteuerung nutzt das entwickelte Ladesignal mit Hilfe der prognostizierten Einflussparameter und prognostiziert so im Zeitraum von zwei Stunden im Voraus die Ladesignale. Es ist somit für die Steuerung erkennbar, zu welchem Zeitpunkt es besonders günstig ist, das Fahrzeug zu laden. Zusätzlich wird betrachtet, wenn innerhalb des Prognosezeitraums das Fahrzeug unter den benötigten Ladezustand einer erwarteten Fahrt fällt, dass der Ladezeitpunkt vorgezogen wird, wenn die Signale bis zu diesem Zeitpunkt höher sind.

Die Ladesteuerung vergleicht die Signale und entscheidet ob das aktuelle Signal den höchsten Wert hat und das Fahrzeug das aktuelle Signal als finales Signal gemeldet bekommt, oder ob ein späteres Signal einen höheren Wert aufweist. In dem zweiten Fall wird das finale Signal null gesetzt und so auf den günstigeren Ladezeitpunkt gewartet.

Simulationen der Ladesteuerung mit realen Einstrahlungs-, Wind-, Last- und Nutzungszeitreihen ergaben, dass der Anteil lokaler erneuerbarer Energie von durchschnittlich 7 % in Chemnitz im ungesteuerten Ladefall, auf 11 % mit einer Ladesteuerung ohne Prognose verbessert werden kann. Der Einsatz der prognosebasierten Ladesteuerung kann diesen Anteil nochmals bis auf ca. 17 % erhöhen.

**Verwendete Literatur:**

[1] <http://www.wwf.de/themen-projekte/klima-energie/klimawandel/die-verursacher/>  
 [2] Öko-Institut e.V., Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE): „OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen - Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft“, Berlin, Oktober 2011



## Oberschwingungsverhalten von Windparks

Kaveh Malekian-Boroujeni

Der steigende Anteil der Windenergie am Bruttostromverbrauch in Deutschland erfordert genauere Kenntnisse über den Einfluss der Windenergie auf die Qualitätsmerkmale der Elektroenergie. Das Ziel dieser Forschungstätigkeit ist, das Oberschwingungsverhalten von Windparks zu beschreiben und nachzubilden. Die Ergebnisse liefern einen Beitrag zur Verbesserung der bestehenden Bewertungsverfahren.

Das Oberschwingungsverhalten eines Windparks ist nicht nur vom Typ der Windenergieanlagen (WEA) abhängig, sondern auch vom Netzaufbau des Windparks, der Kurzschlussimpedanz am Netzanschlusspunkt und dem Oberschwingungspegel des vorgelagerten Hochspannungsnetzes.

Die von WEA emittierten Oberschwingungen überlagern sich am Netzanschlusspunkt des Windparks. Bei der Überlagerung der Oberschwingungen spielt die Phasenlage der Oberschwingungsströme eine bedeutende Rolle [1]. Die Phasenlage der von WEA emittierten Oberschwingungen ist im Wesentlichen vom WEA-Typ und dem WEA-Arbeitspunkt abhängig.

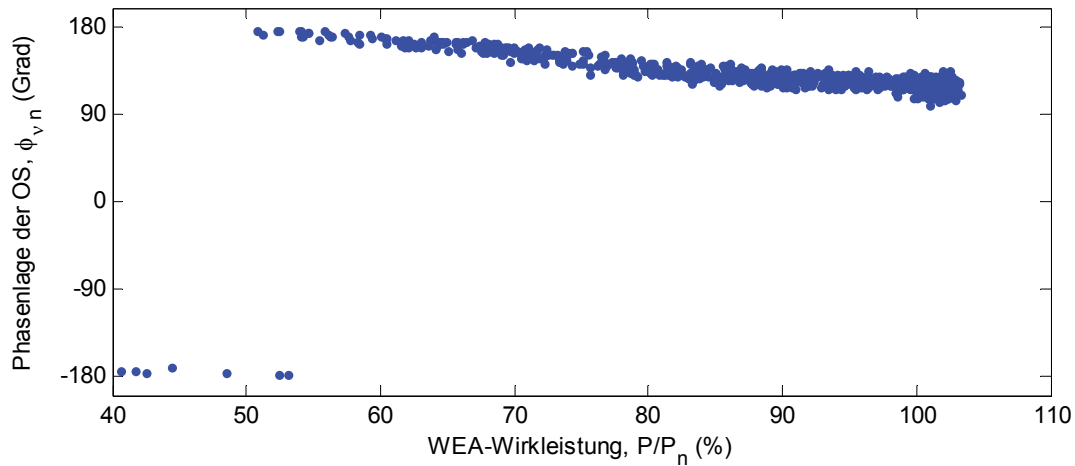
Unter dem WEA-Arbeitspunkt sind die momentanen Wirk- und Blindleistungen der WEA zu verstehen. Vorausgesetzt, dass alle WEA keine Blindleistung einspeisen, wird der WEA-Arbeitspunkt lediglich durch ihre momentane Wirkleistung  $P_{WEA}(t)$  bestimmt. Somit kann die Spannung, die aus den von WEA emittierten Oberschwingungen am Netzanschlusspunkt resultiert, als eine Funktion der WEA-Arbeitspunkte beschrieben werden.

Für einen bestimmten WEA-Typ wird zunächst die Abhängigkeit der Oberschwingungs-Phasenlage vom WEA-Arbeitspunkt durch Messungen ermittelt. Die Phasenlage der Oberschwingungen soll bezüglich eines Referenzzeitpunkts definiert werden, der für alle WEA gleich ist. Der Nulldurchgang der Grundschwingung der Spannung im Mitsystem wird als Referenzzeitpunkt verwendet. Abbildung 1 zeigt die aus Messdaten ermittelte Phasenlage des Oberschwingungsstromes beispielsweise bei einer Ordnungszahl von  $v_n$  in Abhängigkeit von der WEA-Leistung. Diese Abhängigkeit unterscheidet sich bei verschiedenen Ordnungszahlen der Oberschwingungen. Abbildung 2 stellt die aus Messdaten ermittelte Phasenlage des Oberschwingungs-Stromes bei einer anderen Ordnungszahl  $v_m$  dar. Während die Phasenlage bei der Ordnungszahl  $v_n$  eine starke Leistungsabhängigkeit aufweist, ist die Phasenlage bei der Ordnungszahl  $v_m$  rein stochastisch. Demzufolge ist bei der Ordnungszahl  $v_m$  eine stärkere Reduzierung des Pegels am Netzanschlusspunkt aufgrund der Überlagerung der von WEA emittierten Oberschwingungen zu erwarten.

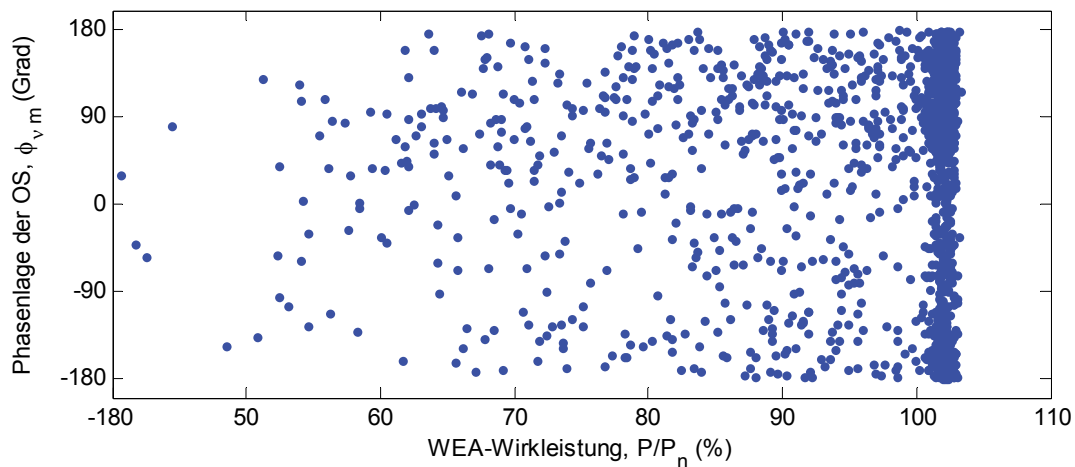
Anschließend werden die WEA-Arbeitspunkte mit einer realistischen Gleichzeitigkeit bestimmt. Die Gleichzeitigkeit der WEA-Arbeitspunkte ist sowohl vom Wind als auch von geografischer Ausdehnung des Windparks abhängig. Um den Zusammenhang zwischen den von WEA emittierten Oberschwingungen und dem Oberschwingungspegel am Netzanschlusspunkt simulieren zu können, wird unter anderem das Windparknetz über der Frequenz nachgebildet. Die Schwierigkeit besteht darin, die frequenzabhängigen Parameter der Betriebsmittel (Kabel, Transformator usw.) zu ermitteln [2].



Die Messungen und Simulationen zeigen, dass eine einfache Skalierung oder eine quadratische Summation [3] der Pegel von Oberschwingungsströmen aller WEA zur Ermittlung der Pegel am Netzanschlusspunkt nicht zulässig ist.



**Abbildung 1:** Phasenlage des Oberschwingungsstromes bei der Ordnungszahl  $v_n$



**Abbildung 2:** Phasenlage des Oberschwingungsstromes bei Ordnungszahl  $v_m$

#### Literatur

- [1] K. Malekian, A. Hoshmeh, U. Schmidt, S. Adloff; Messen und Analysieren am Netzanschlusspunkt – Oberschwingungsverhalten von Windparks; ew 19; ISSN 1619-5795-D9785D; 2012.
- [2] U. Schmidt; Frequenzabhängige Parameter von Kabeln zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen im Zeitbereich; VDI Verlag; ISBN 978-3-18-360606-1; 2013.
- [3] Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems; Technical report; International Electrotechnical Commission; 2008.



## **Fehleridentifikation von Mittelspannungs-Kabelgarnituren mittels TE-Messung**

Stefan Merkel-Krell

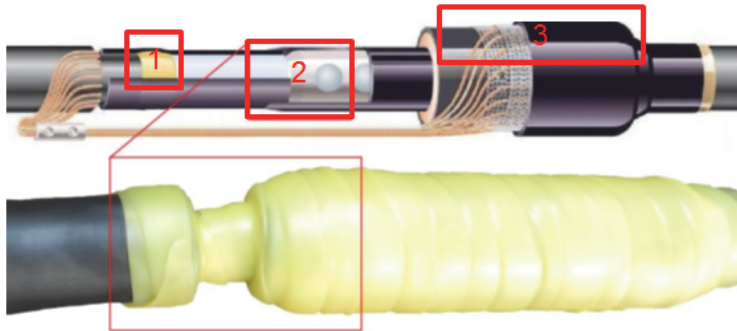
Seit begonnen wurde kunststoffisolierte Kabel in Mittelspannungsnetzen einzusetzen, kann davon ausgegangen werden, dass sich auch potentielle gefährliche Teilentladungs-Fehlstellen in einem großen Anteil dieser Kabelanlagen befinden. Das Einsetzen von Teilentladungen in Fehlstellen in modernen kunststoffisolierten Kabelanlagen während des Betriebs hat großen Einfluss auf deren Zuverlässigkeit. Der größte bekannte Risikofaktor in modernen VPE-Kabelanlagen sind dabei die Garnituren (Kabelmuffen und Endverschlüsse). Hier entstehen die Teilentladungs-Fehlstellen insbesondere durch spezielle Montagefehler in Abhängigkeit mit den im Netz eingesetzten Garniturentypen. Durch betriebsbedingte Alterung von Kabelanlagen, kann die Teilentladungsaussetzspannung von Fehlstellen langsam in einen kritischen Bereich unterhalb der Betriebsspannung absinken. Die tatsächliche Teilentladungsscharkteristik einer Fehlstelle ist von deren Lage und Beschaffenheit innerhalb der Muffe und den dort entstehenden elektr. Feldstärken im Betrieb oder bei Kabeldiagnosen abhängig. Daraus resultiert auch deren Gefahrenpotential für den ordnungsgemäßen Betrieb der Muffe.

Das Ziel ist Teilentladungskenngrößen (z.B. Einsetzspannung oder TE-Pegel) für ausgedehnte Betriebsmittel, wie Kabelanlagen zu identifizieren, welche entfernungsunabhängig vom Messort genauere Aussagen über die Art der Fehlstelle zulassen. Dabei sollen die zu ermittelnden Kenngrößen den maximalen Informationsgehalt für eine Wiedererkennung ähnlich gelagerter Fehler und Unterscheidbarkeit unterschiedlicher Fehlertypen liefern. Klassische Kenngrößen wie z.B. die Einsetzspannung oder der Teilentladungspegel (scheinbare Ladung) sind beispielsweise stark entfernungsabhängig vom Messort. Es ist deshalb generell so, dass die Einsetzspannung, zusätzlich in Abhängigkeit von der Höhe des Störpegels zu hoch bestimmt wird, der TE-Pegel durch Signaldämpfung und teilweise Reflexionen des TE-Impulses zu niedrig gemessen wird. Hierzu wurden im ersten Schritt längenunabhängige Kenngrößen (z.B. Kenngrößen aus Phasenhäufigkeitsdiagramm) identifiziert.

Neben der Längenabhängigkeit der Kenngrößen spielen auch physikalische Eigenschaften von Teilentladungsstellen (Spannungs- und Zeitabhängigkeit) eine große Rolle für die Nutzung der gewonnenen Daten. Schließlich sollen die gewonnen Kenngrößen eine automatische Identifikation von Fehlstellen (insbesondere die Lage innerhalb der Muffe) ermöglichen. In Zusammenhang mit dem Muffentyp und Felderfahrungen lassen sich somit Fehlstellen evtl. auch nach Gefahrenpotential klassifizieren.

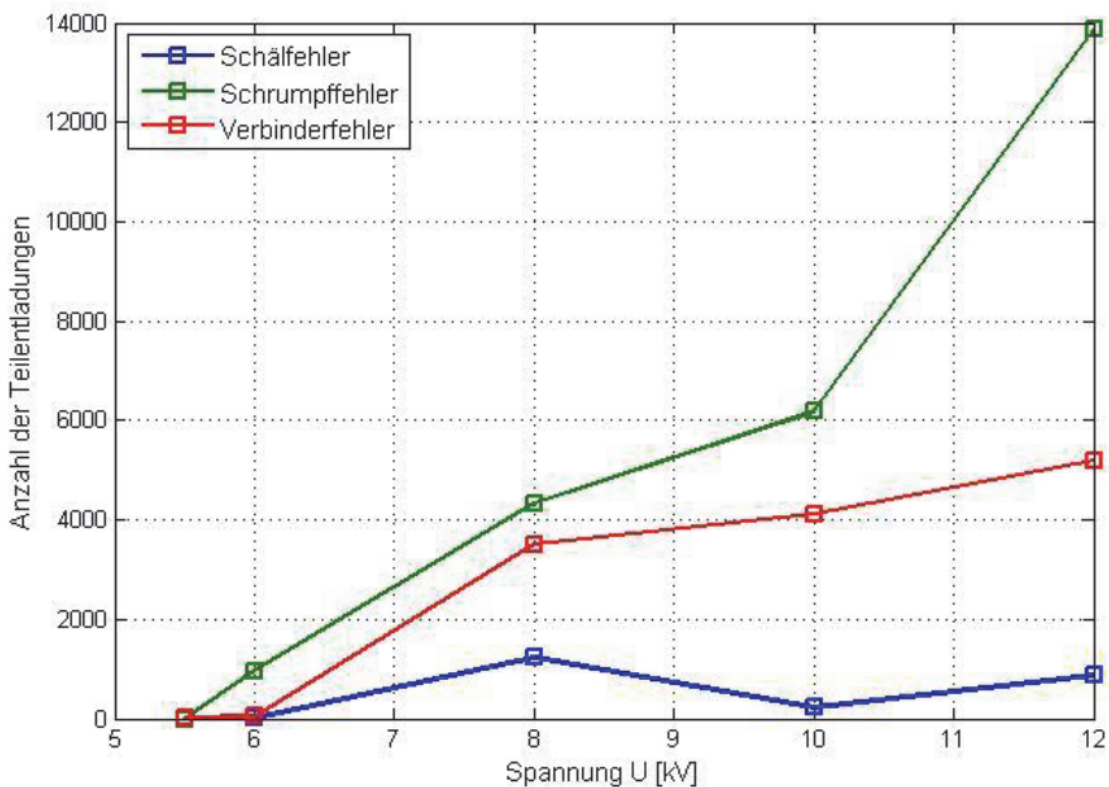
2013 war es das Ziel netzrelevante Fehlstellen nachzubauen und diese auf ihre Teilentladungscharakteristik hin zu untersuchen. Hierzu wurden im ersten Schritt die VDE-Kabeldatenbank (<http://www.vde-kabeldatenbank.de>) auf Fehlertypen und deren Häufigkeit hin untersucht. Gleichzeitig wurden für verschiedene Netzbetreiber ermittelt, welche Muffentypen die am häufigsten eingesetzten sind. Mit Hilfe dieser Informationen stellten sich ein Muffentyp und drei typische Fehler als netzrelevant heraus. Speziell handelt es sich dabei um einen Absetzfehler am Ende der äußeren Leitschicht des Kabels, einen Schälfehler am Kabelverbinder und einen Schrumpffehler des Isolierkörpers (Abbildung 1). Hierzu wurden drei Musterfehler-Muffen konstruiert. Diese

bestehen aus je zwei Metern 10kV-VPE-Mittelspannungskabel, Freiluft-Endverschlüssen und je einer Kabelmuffe (MXSU-3131) von Tyco Electronics Raychem GmbH. Bei der Konstruktion wurde sichergestellt, dass Kabel und Endverschlüsse bis mind.  $2U_0$  teilentladungsfrei ( $>1pC$ ) sind. Anschließend wurden die Kabel mittig zerschnitten und die Muffen montiert. Somit kann nach sorgfältiger Muffenmontage davon ausgegangen werden, dass die entstehende Teilentladungscharakteristik aus dem eingebrachten Montagefehler stammt.



**Abbildung 1:** Musterfehler-Orte am Beispiel Schälfehler am Verbinder (Kabelmuffe MXSU-3131)

Um die Spannungsabhängigkeit (Abbildung 2) der TE-Kenngrößen zu untersuchen, werden an den Musterfehler-Muffen Messreihen durchgeführt. Diese starten bei der Einsetzspannung. Bei den Musterfehler-Muffen stellen sich Einsetzspannungen ab 5,5kV ein. Der nächste Schritt ist die Betriebsspannung (6kV) und weiter in 2kV-Schritten bis zur doppelten Betriebsspannung. Dieser Messbereich deckt den betriebsrelevanten Bereich sowie den Prüf- und Diagnosebereich im betriebsfrequenznahen Spannungsbereich ab. Idealerweise sind spannungsunabhängige Kenngrößen zu ermitteln.



**Abbildung 2:** Anzahl der Teilentladungen pro Periode, negative Halbwelle

Das Vorgehen für die Untersuchung zur Zeitabhängigkeit ist ähnlich. Im ersten Schritt ist ein Zeitpunkt gesucht worden, nachdem sich in den Musterfehlstellen die TE-Charakteristik (Kenngrößen), natürlich im Rahmen der statischen Streuung der Messwerte, stabilisiert hat. Prinzipiell entstehen dabei zeitunabhängig Kenngrößen. Dies auch kommt eingesetzten Teilentladungen während des Betriebs der Kabelanlage sehr nahe. Daneben ist geplant die Entwicklung von Kenngrößen vor dem genannten Zeitraum in ihrer Entwicklung über der Zeit zu untersuchen.

Da die Auswertung von Messreihen automatisch stattfinden soll, wurde eine Möglichkeit geschaffen, die Teilentladungsmessdaten vom Teilentladungsmessgerät Omicron MPD600 automatisch in Matlab einzulesen. Die Messdaten können nun an Matlab übertragen und für eine spätere Weiterverarbeitung hinterlegt werden. Hier lassen sich auf einfache Weise beliebige Kenngrößen generieren und auf ihren Informationsgehalt (Wiedererkennung/Unterscheidbarkeit) hin untersuchen.

Die richtige Auswahl der genutzten Teilentladungskenngrößen ist dabei für eine spätere Identifikation von Fehlstellen die entscheidende Herausforderung. Untersuchte Kenngrößen stammen aus der klassischen Teilentladungsmessung, Amplitudenphasen-Häufigkeitsdarstellung, Pulsfolge-Analyse und der Impulsform-Analyse.

Nachdem nun netzrelevante Musterfehler konstruiert wurden, spannungs- und zeitabhängige Messdaten für die genannten Musterfehler-Muffen vorliegen und das Matlab-Werkzeug erstellt ist, sollen im nächsten Schritt unterschiedlichste Kenngrößen auf ihren zielführenden Informationsgehalt hin untersucht werden.



## Batteriemodell für die Simulation von Photovoltaik-Speichersystemen

Michael Böttiger, Dr. Thilo Bocklisch, Martin Paulitschke

### Einführung

Energiespeicher spielen eine wichtige Rolle für den weiteren schnellen Ausbau, die effiziente Nutzung und optimale Netzintegration erneuerbarer Energien. Ein aktuelles Anwendungsfeld sind dezentrale Photovoltaik-Batteriespeichersysteme zur Eigenverbrauchsoptimierung im häuslichen Bereich. Der Batteriespeicher ermöglicht hier die intelligente Zwischenspeicherung von Solarenergieüberschüssen aus dem Tagesbereich und die Nutzung in den Abendstunden. Die Eigenverbrauchsquote kann nennenswert gesteigert werden bei gleichzeitiger aktiver Entlastung des Netzes (peak-shaving). Mit Hilfe dieser Technologien können die großen Ausbaupotenziale für die dezentrale Solarenergienutzung (>200GW in Deutschland) weiter erschlossen werden. Für die wissenschaftliche Untersuchung und Erprobung intelligenter Betriebsführungsverfahren für Photovoltaik-Speichersysteme wurden 2013 in Fortführung der Nachwuchsforschergruppe „Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme“ von der Arbeitsgruppe „Multispeicher-Hybridsysteme“ umfangreiche Simulationswerkzeuge entwickelt. In diesem Artikel soll das Simulationsmodell für Lithium-Ionen Batterien vorgestellt werden. Dabei wird auf den Versuchsstand zur automatisierten Batterievermessung, auf die Testsignale und Methoden zur Parameteridentifikation sowie auf die Ergebnisse der Versuche und die abschließende Modellvalidierung für eine reale Anwendung eingegangen.

### Batteriemodell

In der Literatur findet man unterschiedliche Ansätze zur Beschreibung des Verhaltens von Lithium-Ionen Batterien. Maßgeblich unterscheiden sich diese in ihrer Genauigkeit und Komplexität. Es existieren die Hauptgruppen: empirische, physikalisch-chemische und abstrahierende Modelle [1]. Physikalisch-chemische Modelle basieren auf der Beschreibung der Energiespeicher- und Energiewandlungsprozesse mittels Differentialgleichungen. Dieser Modelltyp ist auf Grund seiner Komplexität sehr rechenzeitintensiv. Weiterhin existieren mathematische Modelle, in denen ein analytischer Zusammenhang zwischen den Batteriegrößen hergestellt wird. Eine weitere Möglichkeit elektrochemische Speicher zu modellieren, bieten so genannte abstrahierende Modelle.

Folgende Anforderungen werden an das Batteriemodell für die Anwendung in einer Simulationsumgebung zur Untersuchung von Multispeicher-Hybridsystemen gestellt:

- realistische Beschreibung der Verluste, des Ladezustands und des Spannungsverhaltens
- begrenzte Anzahl an Modellparametern und gute experimentelle Bestimmbarkeit
- einfache Implementierung innerhalb der Simulationsumgebung Matlab/Simulink

Ein abstrahierendes Batteriemodell basierend auf einem elektrischen Ersatzschaltbild erfüllt diese Anforderungen sehr gut und eignet sich folglich für die Verhaltensbeschreibung einer Lithium-Ionen Batterie in einem Photovoltaik-Batteriespeichersystem. Das ausgewählte Modell (s. Abbildung 1, links) besteht aus einer idealen Spannungsquelle  $U_{OCV}$ , einem Innenwiderstand  $R_0$  und den in Reihe geschalteten RC-Gliedern  $R_1C_1$  und  $R_2C_2$ . Die Klemmenspannung  $U_{Batt}$  wird in erster Linie durch die Abhängigkeit der Ruhespannung  $U_{OCV}$  vom Ladezustand  $SOC$  beschrieben. Die Spannungsquelle stellt die Ruhespannung als Differenz der Elektrodenpotentiale dar. Der Stromfluss  $I$  führt zum unmittelbaren Spannungsabfall über  $R_0$  nach dem ohmschen Gesetz. Die Spannungsab-

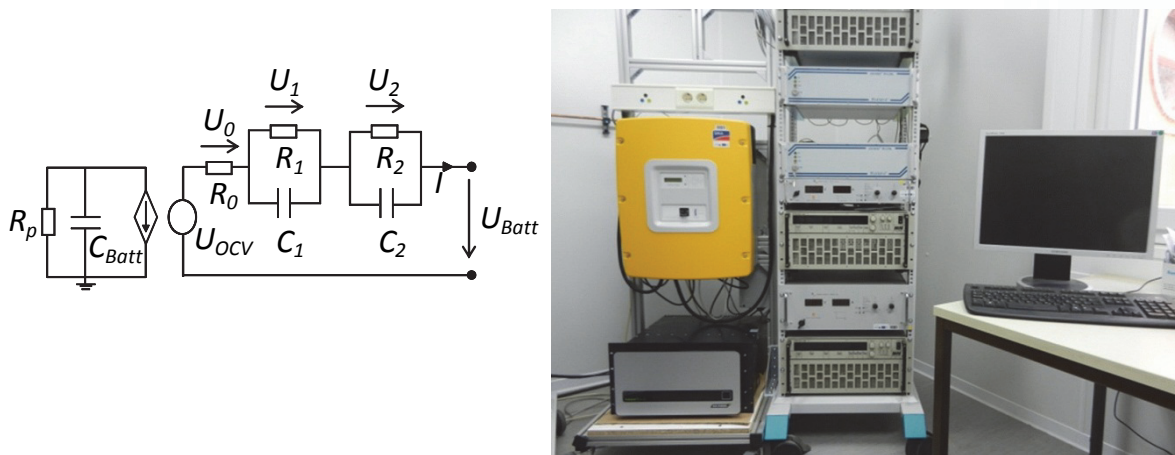
fälle  $U_1$  und  $U_2$  sind gekennzeichnet durch die Zeitkonstante  $T_1=R_1C_1$  für die Nebenreaktion des Ladungsdurchtritts und  $T_2=R_2C_2$  für die Nebenreaktion der Diffusion. Nach dem Maschensatz ergibt sich folgende Spannungsgleichung:

$$U_{Batt} = U_{OCV} + U_0 + U_1 + U_2 \tag{1}$$

Zur Beschreibung des Ladezustands wurde ein Amperestundenzähler implementiert. Dieser beschreibt den Zusammenhang zwischen Batteriekapazität  $C_{Batt}$ , Ladezustand  $SOC$  sowie Batteriestrom  $I$  (s. Gleichung (2)). Der Ladezustand  $SOC_0$  beschreibt den Startwert zum Zeitpunkt  $t=0$ .

$$SOC = SOC_0 + \frac{\eta \cdot \int I dt}{C_{Batt}} \tag{2}$$

Lade- und Entladeeffizienz der Batterie werden im Ersatzschaltbild durch den Parallelwiderstand  $R_p$  modelliert und werden in der Ladezustandsgleichung mit Hilfe des Faktors  $\eta$  beschrieben.



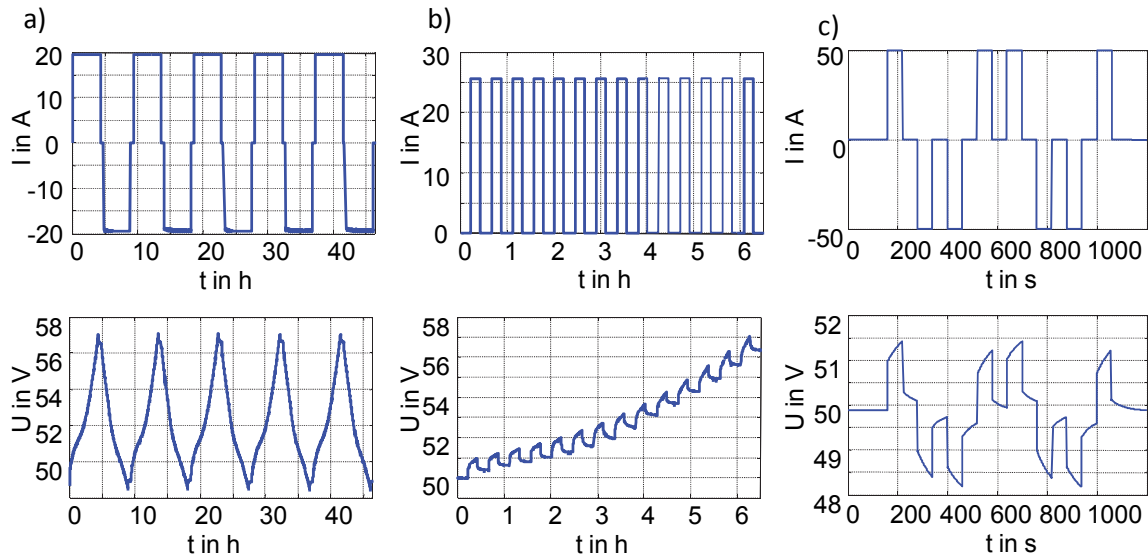
**Abbildung 1:** links: Batteriemodell, rechts: Experimentiersystem zur Vermessung der Batterie

**Parameteridentifikation**

Für die Identifikation der Modellparameter wurden drei charakteristische Versuche geplant und am Experimentiersystem (s. Abbildung 1, rechts) durchgeführt, Versuch a) – Zyklierung der Batterie, Versuch b) – Ruhespannungsmessung und Versuch c) – Pulstests.

In Versuch a) wurde die Batterie zur Bestimmung der Kapazität und der Ladeeffizienz zyklisch geladen und entladen. Die Gesamtanzahl betrug fünf Vollzyklen. Dieser Vorgang wurde für verschiedene C-Raten (0,1-2C) wiederholt. Eine grafische Darstellung der Eingangsgröße Strom und der Ausgangsgröße Spannung ist in Abbildung 2a) dargestellt. Die Parameteridentifikation erfolgte in Matlab unter Nutzung der Optimization Toolbox. Anhand eines analytischen Optimierungsalgorithmus, basierend auf der Methode der kleinsten Quadrate, wurden die Batteriekapazität von 103Ah, die Ladeeffizienz von 92-96% und Entladeeffizienz von 97-99% in Abhängigkeit der Stromstärke bestimmt. Versuch b) diente zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Ladezustand und Ruhespannung. Dazu erfolgte das Laden der Batterie mit einem sehr kleinen Strom (0,25C) für einen definierten Zeitraum. Nach Abwarten des Abklingens des Übergangsvorgangs wurde die Ruhespannung für den jeweiligen Ladezustandswert abgelesen. Strom und Spannung für diesen Test sind in Abbildung 2b dargestellt. Versuch c) diente zur Bestimmung von  $R_0$  und der Parameter der beiden RC-Glieder in Abhängigkeit von der Stromrichtung und vom Ladezustand. Anhand von Strompulsen (vgl. Abbildung 2c)) und der Aufnahme der dazugehörigen Spannungswerte konnten die Modellparameter (Widerstand und Kapazität) ermittelt werden. Hierfür wurde ein nichtlinea-

res Optimierungsverfahren basierend auf dem Trust-Region-Algorithmus (Funktion „lsqnonlin“, Matlab Optimization Toolbox) eingesetzt.



**Abbildung 2:** durchgeführte Versuche: a) Zyklisierung der Batterie, b) Ruhespannungsmessung und c) Pulstests

Zur Beschreibung der Ladezustandsabhängigkeit wurden die Versuche für unterschiedliche Ladezustände wiederholt (abrastern des Ladezustandsbereichs in 10 Schritten). Für die eingesetzte Batterie liegen  $R_0$  im Bereich von 18-21mOhm,  $R_1$  im Bereich von 2-9mOhm,  $R_2$  im Bereich von 2-17mOhm sowie  $T_1$  bei ca. 20-41s und  $T_2$  bei ca. 150-390s.

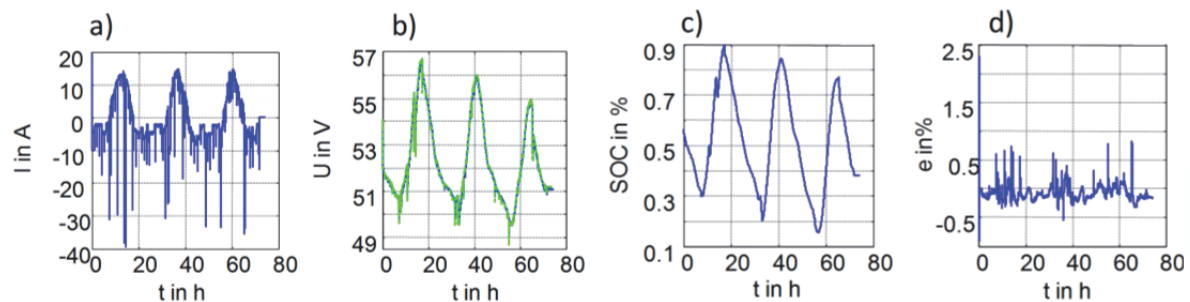
### Versuchsstand

Das Experimentiersystem zur Batterieermessung wurde als mobiles Racksystem konzipiert. Es enthält eine programmierbare elektronische Last (Typ: Höcherl & Hackl ZS4812, Nenndaten: 225A, 120V, 4800W) und ein programmierbares Präzisions-Labornetzgerät (Typ: Delta Elektronika SM60-100, Nenndaten: 100A, 60V, 6000W). Die Geräte kommunizieren über RS232-Schnittstelle und sind über RS232-USB-Umsetzer mit dem Mess- und Steuerrechner verbunden. Die untersuchte Lithium-Ionen Batterie (Nenndaten: 106Ah, 48V, 5000W, 5,5kWh) besitzt einen CAN-Anschluss, über den fortwährend die Batteriegrößen (Spannungen, Strom, Ladezustand, Energieinhalt, Temperaturen, etc.) und Statusmeldungen ausgegeben werden. Mittels eines CAN-USB-Adapters werden die CAN-Nachrichten an den Steuerrechner weitergeleitet. Die Steuerung des gesamten Versuchsstands sowie die Analyse der Messdaten erfolgt mittels eines eigens entwickelten Matlab-Programms unter Nutzung einer objektorientierten Klassenarchitektur und einer grafischen Benutzeroberfläche.

## Modellvalidierung

Zur Validierung des entwickelten Batteriemodells wurde ein Drei-Tagesversuch eines Photovoltaik-Batteriespeichersystems mit Messdaten von einer 5kW-Photovoltaik-Anlage und realen Verbrauchermessdaten eines Referenzobjekts durchgeführt. Das ausgewählte Szenario repräsentiert drei Sommertage im Jahr 2012.

An diesen drei Tagen stellt die Batterie die gesamte Energie zur Deckung der Verbraucher bereit. Abbildung 3a) zeigt das Stromsignal über dem Messzeitraum. Gut zu erkennen ist der durch den Tag-Nacht-Wechsel gekennzeichnete Verlauf der Sonne.



**Abbildung 3:** Validierungstest des Batteriemodells: a) Stromsignal, b) gemessene und simulierte Spannung (blau/grün), c) Ladezustand, d) Modellierungsfehler

Weiterhin sind die fluktuierenden Verbraucher durch wechselnde Peaks in negativer Richtung deutlich zu sehen. Die beiden Spannungsverläufe, gemessene Spannung (blaue Linie) und die simulierte Spannung (grüne Linie) sind in Abbildung 3b) dargestellt und zeigen eine sehr gute Übereinstimmung. Das Differenzsignal der Spannung in Abbildung 3d) zeigt einen maximalen Modellierungsfehler von  $\pm 0,5\%$  für dieses Szenario. Der Ladezustand in Abbildung 3c) zeigt, dass die Batterie in dem gewählten Zeitraum im Ladezustandsbereich von 15-90% genutzt wird. Die untere bzw. obere Ladezustandsgrenze wurde nicht erreicht und damit eine Stromversorgung ausschließlich durch die Batterie sichergestellt.

Neben dem Einsatz im Bereich der Photovoltaik-Batteriespeichersysteme wird das entwickelte Batteriemodell auch für die Simulationswerkzeuge zur optimierenden Auslegung und Betriebsführung von Multispeicher-Hybridsystemen eingesetzt [2-4].

## Literatur

- [1] Gonzales-Longatt, F. M.: „Circuit Based Battery Models: A Review“, 2. Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación (II CIBELEC 2006), 3-7 April 2006, Puerto La Cruz, 2006
- [2] Bocklisch, Th.; Böttiger, M.; Paulitschke, M.: „Application Oriented Photovoltaic-hybrid system test-bed with battery, hydrogen and heat storage path“, International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, 12-16 May 2013, VDE Verlag, 2013, ISBN: 978-3-8007-3505-1
- [3] Böttiger, M.: „Entwicklung einer modellbasierten Steuerungssoftware für ein Photovoltaik-Batterie-Hybridsystem“, Diplomarbeit an der TU Chemnitz, 2011
- [4] Bocklisch, Th.: „Optimierendes Energiemanagement von Brennstoffzelle-Direktspeicher-Hybridsystemen“, Dissertation an der TU Chemnitz, 2010, ISBN: 978-3-941003-13-2



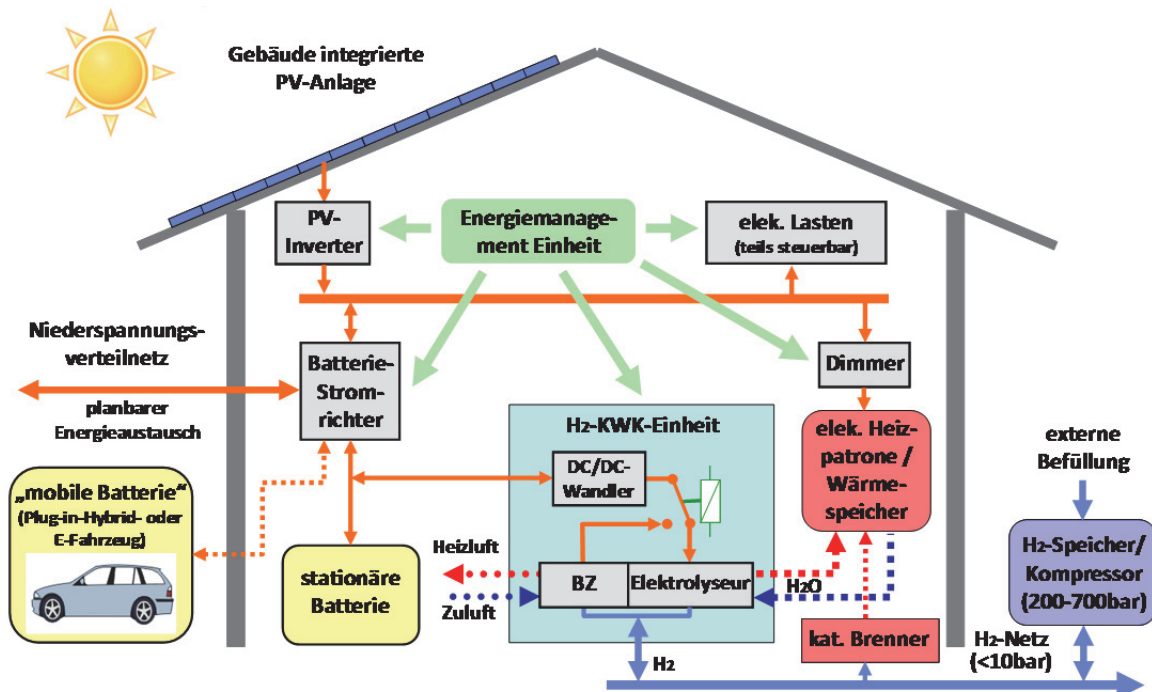


**Intelligente dezentrale Energieversorgung mit Multispeicher-Hybridsystemen**

Dr. Thilo Bocklich, Martin Paulitschke, Michael Böttiger

**Einführung**

Für die weitere Erschließung der großen Potenziale dezentraler Photovoltaik als wichtigen Baustein für eine nachhaltige Energieversorgung (Ausbaupotenzial größer 200 GW allein im gebäudeintegrierten Bereich in Deutschland) ist es notwendig, aktuelle Problemstellungen im Niederspannungsverteilnetz zu adressieren. Herausforderungen entstehen durch die zeitweilige synchrone Einspeisung eines sehr hohen Anteils fluktuierender Solarenergie (Spitzenleistung) und eine damit verbundene mögliche Überlastung von Leitungen und Ortsnetztransformatoren sowie Spannungsbandverletzung. Der stark fluktuierende Charakter und das ausgeprägte Ungleichgewicht zwischen Solarenergieangebot und Strombedarf im Tages- und Jahresbereich begründen den Bedarf nach intelligent gesteuerten Energiespeichersystemen. In jüngster Zeit erfahren Photovoltaik-Batterie-Hybridsysteme zur Optimierung des solaren Eigenverbrauchs ein verstärktes Interesse. Ein aktuelles Forschungsthema der Arbeitsgruppe Multispeicher-Hybridsysteme an der Professur Energie- und Hochspannungstechnik sind die theoretische und experimentelle Untersuchung und Demonstration unterschiedlicher Systemkonzepte für „Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme“ mit Schwerpunkt auf Verfahren zur optimalen Auslegung und Betriebsführung der darin enthaltenen Multispeicher-Konfigurationen (s. Abbildung 1 und [1-5]).



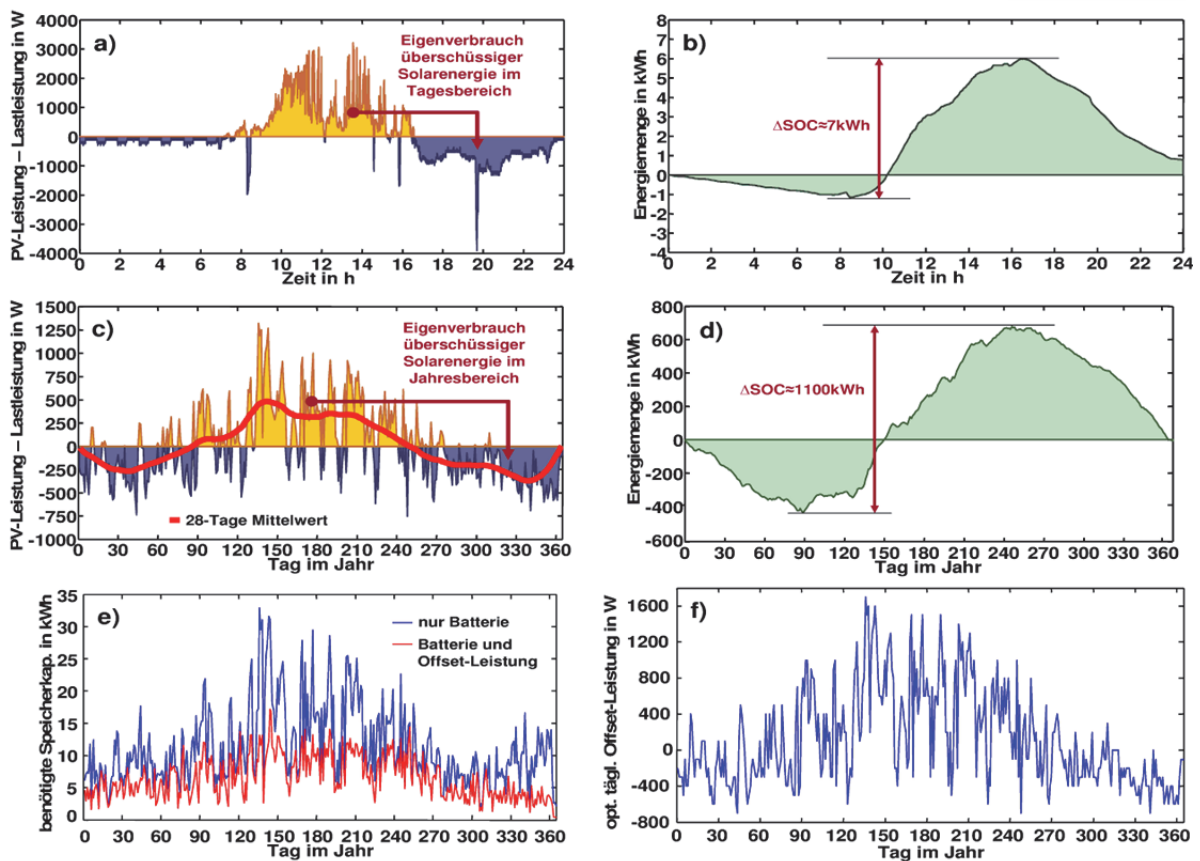
**Abbildung 1:** Grundstruktur eines „Intelligenten dezentralen Energiespeichersystems“ [5]

Ziel ist hierbei nicht das Erreichen einer autarken dezentralen Energieversorgungslösung sondern eine sinnvolle, netzstabilisierende Eigenverbrauchsoptimierung durch Reduzierung der Spitzenleistung und Schwankungen des lokal auftretenden Solarenergieangebots. Durch diese Verfahrensweise soll den technischen Argumenten für eine Drosselung des Ausbaus dezentraler

Photovoltaik-Anlagen im Niederspannungsnetz aktiv entgegengewirkt werden. Der vorgeschlagene Ansatz eines „Intelligenten dezentralen Energiespeichersystems“ gestattet die aktive Verbesserung der Netzqualität und ermöglicht gleichzeitig die Optimierung der Solarenergienutzung unter wirtschaftlichen und technischen Kriterien (z.B. Steigerung der solaren Nutzungsrate, der Gesamteffizienz und der Komponentenlebensdauer). Weiterhin ermöglicht der Ansatz die Bereitstellung zusätzlicher Netzdienstleistungen sowie die Bildung virtueller Kraftwerksstrukturen im Verbund mit anderen intelligenten dezentralen Energieversorgungseinheiten.

**Energiezeitreihen**

Den Ausgangspunkt für eine optimale Auslegung eines „Intelligenten dezentralen Energiespeichersystems“ bilden die Analyse und Modellierung der auftretenden Energiezeitreihen und die Abschätzung des grundsätzlichen Energiespeicherbedarfs im Kurzzeit- und Langzeitbereich (Tag/Jahr) zum Ausgleich der dort auftretenden Schwankungen, Energieüberschüsse und Energie-defizite (s. Abbildung 2).



**Abbildung 2:** a) und c) Differenzleistung, b) und d) benötigter Kurzzeit- und Langzeit-Energiespeicherbedarf für den kompletten Ausgleich zwischen Angebots- und Bedarfsseite, e) minimal benötigte tägliche Energiespeicherkapazität, f) optimale tageskonstante Offset-Leistung (z.B. Wasserstoffspeicherpfad, positiv: Elektrolyseur, negativ: Brennstoffzelle) [5]

**Multispeicher-Hybridsystem-Ansatz**

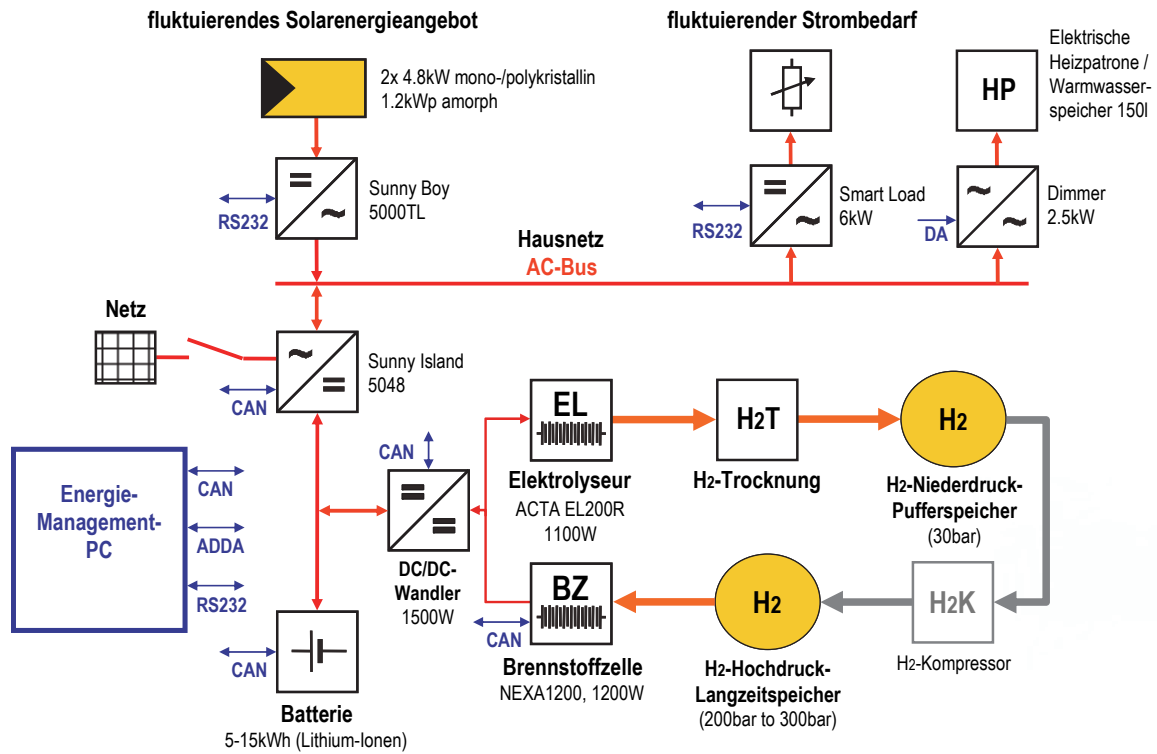
Zur Steigerung der Eigenverbrauchsquote an Solarenergie wurde ein spezieller Multispeicher-Hybridsystem-Ansatz entwickelt und genauer untersucht, welcher aus einem kombinierten Kurzzeit- und Langzeit-Speicherpfad mit optimierendem Energiemanagement besteht. Hauptidee ist die intelligente Kopplung und Regelung unterschiedlicher Energiespeichertechnologien mit ergänzenden Betriebseigenschaften (s. Tabelle 1). Der Multispeicher-Hybridsystemansatz gestattet zum einen die Minimierung der Investitions- und Betriebskosten der Gesamtspeicheranlage und zum anderen die Optimierung technischer Kriterien, wie z.B. der Effizienz und der Lebensdauer der eingesetzten Komponenten und des Gesamtsystems. Für den Ausgleich von Fluktuationen im Tagesbereich sind elektrochemische Batteriespeicher (z.B. Lithium-Ionen Batterien) am besten geeignet. Sie zeichnen sich durch eine hohe Wandlungseffizienz und eine hohe spezifische Leistungsdichte aus. Für den Ausgleich größerer Energiemengen im saisonalen Langzeitspeicherbetrieb kommen nur chemische Energieträger, wie z.B. Wasserstoff oder synthetisches Methan in Betracht. Batterien sind infolge ihrer relativ hohen Selbstentladungsrate und hohen spezifischen Kosten je gespeicherter Kilowattstunde (Faktor 30-200 höher als bei Wasserstoff) für die Langzeit-Energiespeicherung ungeeignet.

**Tabelle 1:** Vergleich unterschiedlicher Energiespeicher- und Energiewandlertechnologien [5]

	PEM-Elektrolyseur	PEM-Brennstoffzelle	H <sub>2</sub> -Kompressor	H <sub>2</sub> -Druckspeicher 200bar	Bleibatterie	Lithium-Ionen Batterie	Wärmespeicher	Stromrichter
€/kWh	-	-	-	5-15	140-350	500-1200	30-100	-
T€/kW	2-5	2-5	2.5-10	-	Lad.: 1.5-3.5 Entl.: 0.1-0.4	Lad.: 0.5-1.3 Entl.: 0.05-0.3	0.05-0.1	0.5-1
Effizienz in %	40-60	45-60		-	60-85	92-98	>90	90-97
Selbstentladung %/Monat	-	-	-	≈0	2-20	1-5	≈20	-
Lebensdauer	2000-10000h	1000-40000h			600-1500 Zyklen	3000-7000 Zyklen		

**Experimentiersysteme**

In Abbildung 3 und 4 sind die entwickelten Experimentieraufbauten mit Funktionsschema, den im Labor aufgebauten Racksystemen sowie einem Wasserstoff-Experimentiercontainer vor der Laborhalle dargestellt. Kernidee der vorgeschlagenen AC- und DC-gekoppelten Hybridsystemstruktur ist die Direktnutzung von Solarenergie innerhalb der Standard AC-Hausinstallation und die Kompensation der resultierenden Differenzleistung durch den Multispeicher-Hybridsystem-Ansatz (s. [2], [5]).



**Abbildung 3:** AC- und DC-gekoppelte Topologie des Experimentiersystems zur praxisnahen Untersuchung von Multispeicher-Hybridsystemen zur erweiterten Eigenverbrauchsoptimierung von Solarstrom (mit Ausgleich im Tages-/ Jahresbereich und intelligentes „peak shaving“) [5]



**Abbildung 4:** links: Multispeicher-Experimentiersystem in Rackbauweise, rechts: Wasserstoff-Experimentiercontainer und Langzeitspeicher im Außenbereich [2], [5]

### Zusammenfassung und Ausblick

Der vorgestellte Ansatz eines „Intelligenten dezentralen Energiespeichersystems“ stellt eine wesentliche Erweiterung klassischer Photovoltaik-Batterie-Hybridssysteme dar und unterstützt die effiziente und wirtschaftliche Integration erneuerbarer Energien in das Energieversorgungssystem. Ein Multispeicher-Hybridverbund aus Lithium-Ionen Batterie, Wasserstoff- und Wärmespeicherpfad stellt eine attraktive und leistungsfähige Einheit zur effizienten und wirtschaftlichen Speicherung erneuerbarer Energieüberschüsse im Tages- und Jahresbereich dar. Die vorteilhafte Nutzung des Multispeicher-Ansatzes wird in aktuellen Forschungsarbeiten auch für andere Anwendungsfelder (z.B. im Fabrikbereich) untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt liegt bei der Entwicklung und Erprobung leistungsfähiger, adaptiver Betriebsführungsverfahren für Multispeicher-Hybridssysteme. Diese Verfahren integrieren dann Prognose- und Klassifikationsalgorithmen für die Energiezeitreihen und passen sich automatisch an veränderliche Energieangebots- und Energiebedarfsituationen an [1-5].

### Referenzen

- [1] Bocklisch, Th.; Paulitschke, M.; Böttiger, M.: "Endverwendungsnachweis zur Nachwuchs forscherguppe Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme - Abschnitt zu Teilprojekten 2 und 3", TU Chemnitz, 2013
- [2] Bocklisch, Th.; Böttiger, M.; Paulitschke, M.: "Application Oriented Photovoltaic-hybrid system test-bed with battery, hydrogen and heat storage path", International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, Nuremberg, 12-16 May 2013, VDE Verlag GmbH Berlin Offenbach, 2013, ISBN: 978-3-8007-3505-1
- [3] Bocklisch, Th.: "Optimale Auslegung und Betriebsführung von Multispeicher-Hybridssystemen", Vortrag zum 2. Sächsischen Forum für Brennstoffzellen und Energiespeicher, Messe Leipzig, 5.11.2013
- [4] Bocklisch, Th.: "Hybride Energiespeichersysteme für die Energiewende", Vortrag zum 5. Herbstworkshop "Hybride Energiespeichersysteme für die Energiewende", TU Chemnitz, 7.11.2013
- [5] Bocklisch, Th.: "Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme", UmweltWirtschaftsforum, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, DOI 10.1007/s00550-013-0301-4

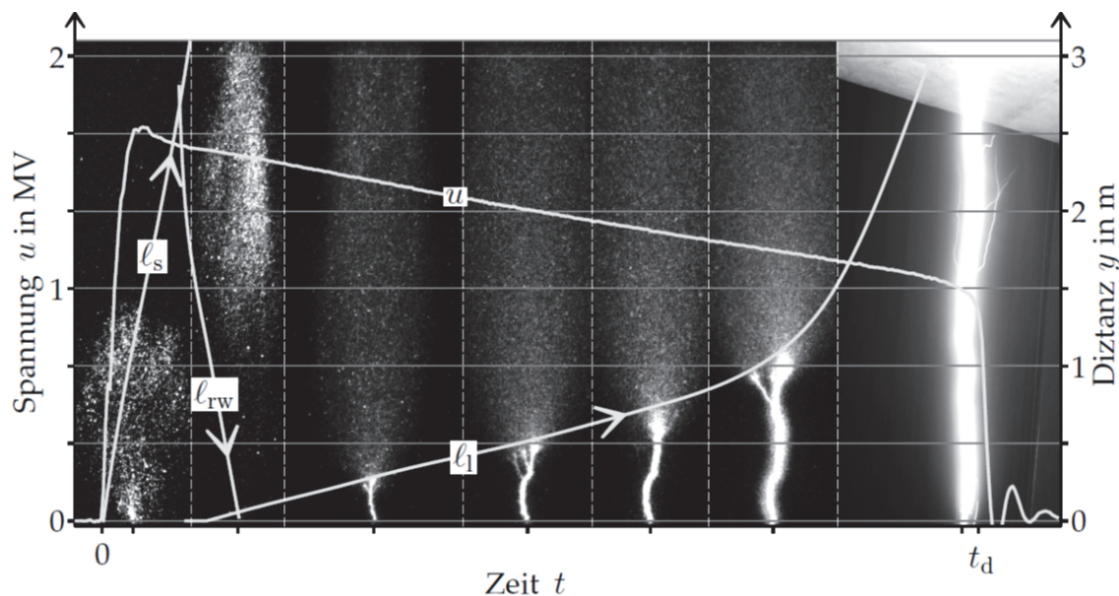


**Entladungsverhalten langer Luftfunkenstrecken bei Blitz-Stoßspannungen**

Ali Shirvani-Boroujeni

Zur Untersuchung des Entladungsverhaltens langer Luftfunkenstrecken bei Blitzstoßspannungen wurde ein Messsystem entwickelt, mit dem neben den elektrischen Größen (Vorentladestrom  $i_e$  und Elektrodenspannung  $u$ ) auch die Erfassung der zeitlich räumlichen Entwicklung der Vorentladungen möglich ist. Die Herausforderung besteht in der Erfassung sehr licht- und stromschwacher Vorentladungen in einem sehr kurzen Zeitraum (teilweise in wenigen Nanosekunden).

In Abbildung 1 ist beispielgebend der repräsentative Durchschlagprozess mit einem Scheitelwert der Blitzstoßspannung von  $\hat{u} = 1692$  kV für einen Elektrodenabstand von  $s = 3$  m dargestellt.



**Abbildung 1:** Repräsentativer Durchschlagprozess bei einer positiven Blitzstoßspannung und einer Spitze-Platte-Anordnung

Der Vorentladestrom  $i_e$  und die Elektrodenspannung  $u$  sind auf der linken Ordinate aufgetragen. Die Eindringtiefen der Vorentladungen  $l$  können über die rechte Ordinate abgelesen werden. Die sechs Einzelaufnahmen<sup>2</sup> im Hintergrund der Abbildung bilden Abschnitte des gesamten Prozesses ab. Sie veranschaulichen prinzipiell drei Phasen des Durchschlagprozesses vom Beginn der Vorentladung bis zum Durchschlag:

<sup>2</sup> Eine Einzelaufnahme wird als Teilaufnahme einer (bis zur achteiligen) Fotosequenz verstanden, die von der Hochgeschwindigkeitskamera während einer Stoßspannung aufgezeichnet wurde.

**Phase I - Streamerentladung:** Der Durchschlagprozess startet mit einer anodengerichteten Lawinentladung, die sofort in eine **erste Streamerentladung** übergeht. Die erste Einzelaufnahme stellt diese Phase dar. Die Eindringtiefe der Streamerentladung (die vertikale/axiale Länge der Ausbreitung, die Entfernung des Streamerkopfes von der Spitzenelektrode) wird in Abbildung 1 durch die Linie  $l_s$  abgebildet. Sie wächst mit einer fadenförmigen (fasrigen) Struktur vor, die in eine fadenförmige **zweite Streamerentladung** übergeht

**Phase II - Rückwärtswelle:** Nachdem die zweite Streamerentladung die Plattenelektrode erreicht hat, startet eine rückwärtsgerichtete Welle (**Rückwärtswelle**). Sie ist in der zweiten Einzelaufnahme als diffuse Strahlung erkennbar, die sich von der Plattenelektrode bis zur Spitzenelektrode erstreckt. Die Linie  $l_{rw}$  in Abbildung 1 beschreibt das Vorwachsen (oder Länge) des Kopfes der Rückwärtswelle über die Zeit aus Richtung der Platten- hin zur Spitzenelektrode.

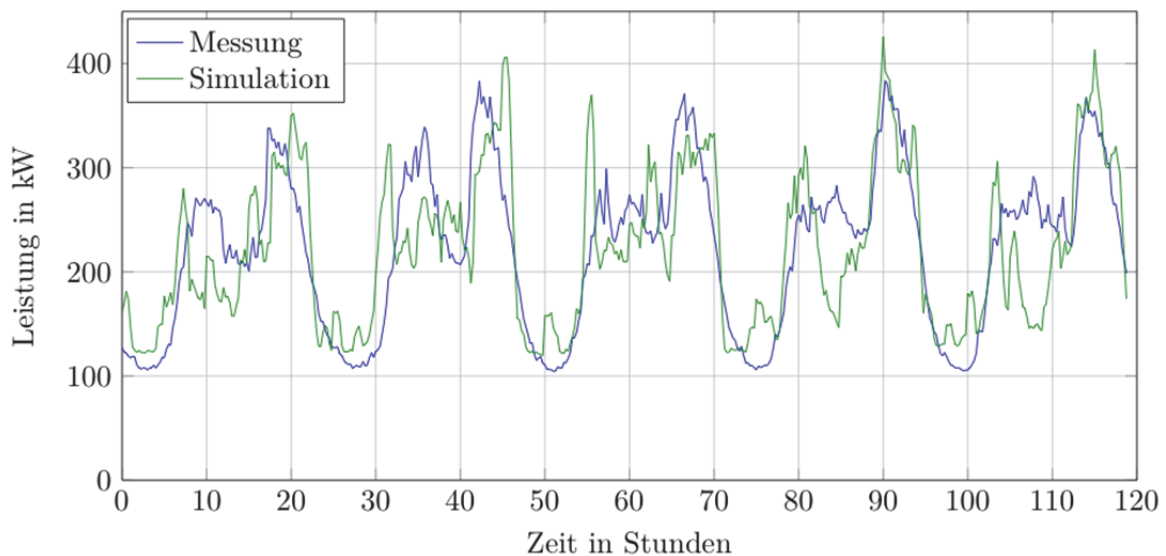
**Phase III -- Kanalbildung:** Die diffuse Strahlungen der Rückwärtswelle schnürt sich in der Nähe der Spitzenelektrode ein. Es entsteht ein stark leuchtender Kanal (ab dritte Einzelaufnahme). Die Eindringtiefe des Kanals  $l_1$  wächst über einen Zeitraum von einigen zehn Mikrosekunden bis zur Plattenelektrode. Im Augenblick der vollständigen Überbrückung der Elektroden  $t = t_d$  bricht die Elektrodenspannung  $u$  ein und ein Durchschlag findet statt.



### Leistungsflussoptimiertes Energiemanagement mehrerer dezentraler Energieversorgungssysteme auf Niederspannungsebene

Jens Teuscher

Die Basis für ein leistungsflussoptimiertes Energiemanagement auf Niederspannungsebene bildet dabei eine realitätsnahe Abbildung von Niederspannungsnetzen. Daher wurde eine rechenfähige Matlab-basierende Plattform zur realitätsnahen Berechnung von Niederspannungsnetzen erstellt. Durch die selbstentwickelten Erweiterungen können so verschiedene Niederspannungsnetze eingelesen werden und an den jeweiligen Hausanschlüssen mittels eines an der TU Chemnitz entwickelten Lastprofilgenerators verschiedene fluktuierende Energiezeitreihen hinterlegt werden. In Abbildung 1 sind die simulierten Lastannahmen in einem städtischen Niederspannungsnetz im Vergleich zu der am Ortsnetztransformator gemessenen Lastkurve dargestellt.



**Abbildung 1:** Vergleich von simulierter und gemessener Lastkurve an einem Ortsnetztransformator

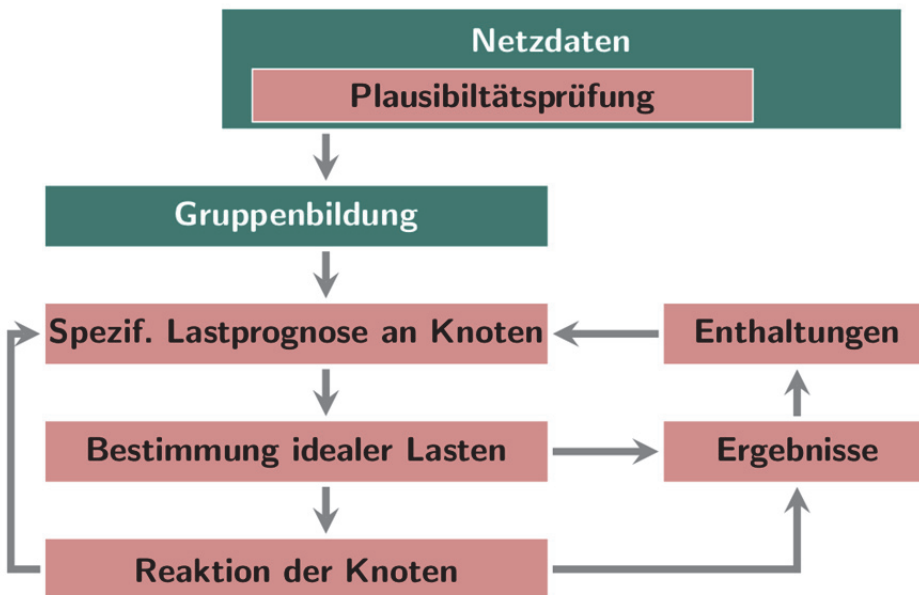
Der Vergleich zeigt, dass die Simulationen im Wesentlichen den realen Verlauf widerspiegeln. Durch diese realitätsnahe Abbildung von Niederspannungsnetzen inklusive ihrer fluktuierenden Einspeise- und Verbrauchsannahmen kann diese Verteilnetzebene in zukünftigen Netzplanungen deutlich detaillierter betrachtet werden und somit ist die Grundlage für ein leistungsflussoptimiertes Netzmanagement gewährleistet.

Um eine Leistungsflussoptimierung durchführen zu können, muss jeder der Haushaltsanschlüsse (im Folgenden als Knoten bezeichnet) im Netz ein eigenes Steuersignal erhalten. Da ein Reagieren des Knotens erwünscht ist, aber nicht befohlen werden kann, wurde dieses Steuersignal als Anreizsignal beschrieben. Ist das Anreizsignal positiv, so soll der Knoten seinen Verbrauch erhöhen bzw. seine Einspeisung reduzieren. Im Falle eines negativen Anreizsignals verhält sich der Knoten entgegengesetzt.

Im Kern des Netzmanagements und somit ein wesentlicher Bestandteil des Anreizsignals steht eine Reduzierung des Abstandes zwischen Verbrauch und Einspeisung, wodurch eine Einhal-



tung von Netzparametern mit hoher Wahrscheinlichkeit gewährleistet werden kann. Hierbei wurde daher eine Gruppenbildung implementiert, wodurch Knoten (Haushaltsanschlüsse) mit kurzen Abständen zueinander in Gruppen betrachtet werden. Dieser clusterbasierende Ansatz wurde als CLUMA (Cluster-Based-Management-Algorithm) bezeichnet. Aufbauend auf dieser Gruppenbildung wird das Anreizsignal anhand von verschiedenen Lastsituationen pro Knoten bestimmt, welches in Abbildung 2 dargestellt ist. Einen weiteren wesentlichen Bestandteil des Anreizsignals bildet die spezifische Lastprognose für jeden Knoten. Dabei sind die Eingangsdaten zum einen das historisch aufgenommene Verhalten dieses Knotens sowie die aktuelle Lastsituation im Niederspannungsnetz sowie auch im vorgelagerten Mittelspannungsnetz. In einem weiteren Schritt wird auf Basis der Gruppenbildung eine ideale Last bestimmt, welche einen Leistungsfluss innerhalb einer Gruppe realisieren würde. Des Weiteren wird die Reaktion des Knotens untersucht und entsprechend mit den geplanten Werten verglichen. Dabei ist auch vorgesehen, dass ein Nichtreagieren auf das Anreizsignal vom System mit aufgenommen wird und entsprechende Gegenmaßnahmen für den Knoten und seine Nachbarn entstehen.



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung des Netzmanagement-Algorithmus

Durch diese Gruppenbildung ergeben sich eine Reduzierung des Leistungsflusses und damit auch eine Reduzierung der Netzverluste. An Netzmodellen konnte in verschiedenen Szenarien bei einer hohen verfügbaren dezentralen Einspeisung eine deutliche Reduzierung der Netzverluste gezeigt werden. Ausführliche Tests dieses Netzmanagements sind der Kern der fortführenden Arbeiten.

## 5 Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten

Auch im Jahr 2013 konnten an unserer Professur viele Studierende bei deren Studiumabschluss positiv unterstützt und begleitet werden. Nachfolgend sind die Themen dieser Abschlussarbeiten aufgeführt. Detailliertere Informationen und Hinweise zu allen wissenschaftlichen Arbeiten können auf unserer Homepage eingesehen werden.

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

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

### 5.1 Bachelorarbeiten

<b>Mike Hoffmann</b>	Modellierung des Einschaltstromes der Transformatoren
<b>Georg Pinkert</b>	Exemplarische Anpassung von Lastgangsimulationen in einem Niederspannungsnetz vergleichend zu realen Messungen
<b>Mirko Lehmann</b>	Projektierung einer Wechselspannungsanbindung eines Solarparks unter Beachtung wirtschaftlicher und technischer Aspekte
<b>Erik Müller</b>	Analyse des regulatorischen Umfeldes zur Ermittlung von Netzverlusten und Entwicklung eines Modellnetzes zur Ermittlung von Netzverlusten im Niederspannungsnetz unter Berücksichtigung von dezentralen Einspeisern

## 5.2 Masterarbeiten

<b>Thomas Jungnickel</b>	Potentiale eines intelligenten dezentralen Energiemanagements am deutschen Energiemarkt
<b>Johannes Rumpf</b>	Versuchsstand und Untersuchungen zur Eigenverbrauchsoptimierung von Solarstrom auf der Basis des Sunny Home Manager Systems und einer Lithium-Ionen Batterie
<b>Jan Wichmann</b>	Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energiespeichern

## 5.3 Diplomarbeiten

<b>Christian Sehne</b>	Entwicklung einer probabilistischen Speicherdimensionierung zur Netzstabilisierung ländlicher Regionen
<b>Julia Süptitz</b>	Klassifizierung der Niederspannungsnetze der MITNETZ Strom im Hinblick auf zukünftige Last- und Einspeisecharakteristik
<b>Marcus Liedtke</b>	Entwicklung eines Messsystems zur Ermittlung von Blitzstromkennwerten

## 5.4 Dissertationen

<b>Uwe Schmidt</b>	Frequenzabhängige Parameter von Kabeln zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen im Zeitbereich ISBN 978-3-18-360606-1
--------------------	--

## 6 Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge

Die im Jahr 2013 getätigten Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge sind nachfolgend aufgeführt und können bei Bedarf auf unserer Homepage eingesehen werden.

**Schmidt, U:** *Frequenzabhängige Parameter von Kabeln zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen im Zeitbereich*. Dissertation. TU Chemnitz, 2013. ISBN 978-3-18-360606-1

**Rindelhardt, U; Brand, Jens:** *Simulation von Stromspeichern im Übertragungsnetz bei hohen Anteilen von Photovoltaik- und Windenergieanlagen*. 28. Symposium Photovoltaische Solarenergie (Bad Staffelstein), 2013. Poster. ISBN: 978-3-943-891-09-6

**Pflugradt, N.; Platzer, B.; Teuscher, J.; Schufft, W.:** *Analysing low-voltage grids using a behaviour based load profile generator*. International Conference on Renewable Energies and Power Quality 2013, Bilbao, 2013. ISBN: 978-84-695-6965-8

**Kühnert, D.; Schufft, W.:** *Charging management for full electric vehicles in the mobility-on-demand-concept "fahrE" using local renewable energy*. International Conference on Renewable Energies and Power Quality 2013, Bilbao, 2013. ISBN: 978-84-695-6965-8

**Bocklisch, T.; Paulitschke, M. ; Böttiger, M.:** *Application Oriented Photovoltaic-hybrid system test-bed with battery, hydrogen and heat storage path*. VDE Verlag, 2013. ISBN: 978-3-8007-3505-1

**Shirvani A.; Schufft, W. ; Malekian, K.:** *A Transient Model of Lightning Breakdown Process Based on Photographic Measurements*. Ottawa, Canada, 2013

**Shirvani A.; Schmidt, U. ; Schufft, W.; Pampel, H. :** *Spatial-temporal Investigation of Breakdown of Long Air Gaps by Lightning Voltages up to 2.4MV*. Ottawa, Canada, 2013

**Shirvani A.; Schufft, W.; Pampel, H.:** *Spatial-temporal Investigation of Breakdown Process of Lightning Overvoltages: the Measurement System*. Seoul, Korea, 2013

**Hadid, S; Schmidt, U.; Schufft, W.; Rätzke, S:** *FREQUENCY DEPENDENCE OF THE DISSIPATION FACTOR OF PE/XLPE-INSULATED MEDIUM VOLTAGE CABLES*. ISH - International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul, Republic of Korea, 2013. ISBN 978-89-8610-19-5

**Gürlek, A; Süptitz, Julia; Noske, Tino; Schulze, Heike :** *Klassifizierung von Niederspannungsnetzen - Simulation und Optimierung des Netzausbaubedarfs*. EW - Elektrizitätswirtschaft, Vol. 13, S. 82 - 95 , 2013. 1619-5795

**Zeising, Vanessa; Teuscher, J.; Schufft, W.:** *Application of the Loss-Optimising-Management-Algorithm to a Micro Grid Energy Management System*. Journal of Energy and Power Engineering 7 (2013), p.1754-1763, David Publishing Company, Rosemead (USA), 2013. ISSN 1934-8975

**Bocklisch, T.; Böttiger, M. ; Paulitschke, M.:** *Multi-storage hybrid system approach and experimental investigations*. 8. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2013, Eurosolar, Berlin, 2013

**Böttiger, M.; Bocklisch, T. ; Paulitschke, M.:** *Experimental investigation and modelling lithium-ion batteries for PV-hybrid system applications*. 8. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2013, Eurosolar, Berlin, 2013

## 7 Externe Aktivitäten und Kontakte

### 7.1 Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien

Datum	Person	Veranstaltung	Ort
13.02.2013	Prof. Rindelhardt, Teuscher, Kühnert, Götz	Inbetriebnahme 2 MW - Batteriespei- cher in Berlin bei Vattenfall	Berlin
26.-27.02.2013	Böttiger, Paulitschke	Kraftwerk Batterie	Aachen
21.-22.03.2013	Merkel-Krell	VDE AG „Qualitätssicherung an MS- Kabelanlagen“	Braunschweig
6.-7.05.2013	Merkel-Krell	VDE AK Kabel	Dresden
19.-22.03.2013	Kühnert, Teuscher	International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13)	Bilbao
11.04.2013	Götz, Teuscher, Bock- lich	Workshop II "Investitionspartner für Energiespeicherprojekte"	Dresden
24.04.2013	Prof. Schufft, Götz	Workshop Umsetzung Energiekonzept Vogtlandkreis	Plauen
24.-25.4.2013	Bocklich	Innovationsforum PGP	Leipzig
26.04.2013	Bocklich	Arbeitstreffen Projektvorbereitung Heli- ocentris	Berlin
12.05.2013	Paulitschke	PCIM Konferenz	Nürnberg
30.05.2013	Götz	Energy Saxony Workshop zur Förderung dezentraler Energieversorgung in Sach- sen	Dresden
06.06.2013	Götz	EEX-Workshop	Leipzig
29.-30.06.2013	Bocklich, Paulitsch- ke, Böttiger	Arbeitstreffen Heliocentris	Berlin
05.09.2013	Teuscher, Götz	Vorstellung energetische Ziele im Vogt- landkreis	Oberlauer- bach
23.-24.10.2013	Merkel-Krell, Hadid	VDE AK Kabeltechnik	Grödnitz
05.11.2013	Bocklich	2. Sächsisches Forum Brennstoffzellen und Energiespeicher	Leipzig
07.11.2013	Bocklich	Herbstworkshop "Hybride Energiespei- chersysteme für die Energiewende"	Chemnitz
07.11.2013	Bocklich	Herbstworkshop "Hybride Energiespei- chersysteme für die Energiewende"	Chemnitz
18.-20.11.2013	Bocklich, Paulitschke, Böttiger	8. Internationale Konferenz zur Speiche- rung von Energie aus erneuerbaren Quellen, IRES2013	Berlin
10.12.2013	Götz	Photovoltaik in der Praxis	Dresden

## 7.2 Gäste an der Professur

Datum	Namen	Firma/ Institution
18.01.2013	Herr Noske, Frau Schulze	MITNETZ Strom GmbH, Halle
06.02.2013	Herr Münch	RAC - Chemnitz
14.02.2013	Herr Morawetz, Herr Neubauer ; Herr Vettters	EA EnergieArchitektur GmbH ; eins energie
08.03.2013	Herr Noske, Frau Schulze	MITNETZ Strom GmbH, Halle
22.03.2013	Wilfried Triller	(Senior Consultant )
27.03.2013	Herr Köckritz	Würth Elektronik eiSos GmbH
03.04.2013	Herr Müller	Siemens Chemnitz,
04.04.2013	Prof. Schegner	TU Dresden
16.04.2013	Prof. Kondratjew	MEI Moskau
17.04.2013	Michael Web	Faraday House Services, London
27.05.2013	Herr Noske, Frau Schulze	MITNETZ Strom GmbH, Halle
12.06.2013	Herr Schmidt	enso Netz GmbH, Dresden
06.08.2013	Dr. Lissek	MITNETZ Strom GmbH, Halle
06.08.2013	Herr Mark Richter	Fraunhofer IWU, Chemnitz
06.08.2013	Herr Thomas Schuhmann	MACROBATTERY
06.08.2013	Dr. Erhardt	ads-tec, Wilsdruff
10.09.2013	Herr Hunger, Herr Bobber	eins energie in sachsen GmbH & Co. KG
10.09.2013	Herr Schramm	Techem Energy Services GmbH
10.09.2013	Herr Voigt, Herr Thetmeyer	Sächsischen Wohnungsgenossenschaft Chemnitz eG
24.09.2013	Herr Gangl, Herr Rauscher	TenneT offshore, Bayreuth
08.10.2013	Herr Richter; Dr. Ehrhardt; Dr. Barucki	FhG IWU; ads-tect; adapted solutions
11.11.2013	Dr. Nitsch	Ingenieurbüro Dr. Nitsch
16.12.2013	Dr. Nohac, Dr. Majer, Dr. Hromadka, Dr. Mach	Westböhmische Universität Pilsen

## 7.3 Höhepunkte

### 7.3.1 Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Uwe Schmidt am 21.01.2013

*„Frequenzabhängige Parameter von Kabeln zur Berechnung von Ausgleichsvorgängen im Zeitbereich“*

Gutachter: Prof. W. Schufft, TU Chemnitz  
Prof. M. Kizilcay, Universität Siegen  
Beisitzer: Prof. G. Hentschel, ALSTOM Grid GmbH, Dresden  
Dr. H. Pietzsch, KEMA-IEV, Dresden

In seiner Dissertation beschäftigte sich Herr Dr. Schmidt mit der Bestimmung von frequenzabhängigen Parametern von Kabeln. Mit seiner Arbeit leistet Herr Dr.-Ing. Schmidt einen wichtigen Beitrag zur genaueren Berechnung von Ausgleichsvorgängen im Bezug des Leitungstyps Kabel in Elektroenergienetzen.

Die Kenntnis des frequenzabhängigen elektrischen Verhaltens von Freileitungen und Kabeln ist für die Simulation transienter Vorgänge entscheidend. Die Parameter im Frequenzbereich oberhalb der Netzfrequenz unterscheiden sich wesentlich von denen bei Nennfrequenz. Dabei haben insbesondere die Stromverdrängungseffekte einen großen Einfluss. Zur Beschreibung der Impedanzen bei Kabeln ist das Teilleiterverfahren ein anerkanntes und leistungsfähiges Verfahren, das im Frequenzbereich bis wenige Kilohertz genaue Ergebnisse liefert. In dieser Arbeit wird eine frequenzabhängige Segmentierung erarbeitet, die das Verfahren bis zu einigen Megahertz nutzbar macht. Die Rechenzeit gegenüber dem konventionellen Teilleiterverfahren wird deutlich reduziert. Die Segmentierung der Leiter basiert dabei auf der frequenzabhängigen Stromverteilung über dem Querschnitt der betrachteten Leiter. Darüber hinaus werden der Einfluss der Frequenz auf die Kapazitäten von Drehstrom-Kabelsystemen analysiert und Berechnungsgrundlagen für deren Bestimmung formuliert. Genutzt werden dafür analytische Ansätze, wie beispielsweise das Ersatzladungsverfahren für Einstoff- und Mehrstoffdielektrika. Die vorgeschlagenen Verfahren zur Bestimmung der frequenzabhängigen Parameter werden in einem Algorithmus implementiert, an dem beispielgebende Ergebnisse präsentiert werden.



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

### 7.3.2 Nachwuchsforschergruppe fahrE

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

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

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

Im zweiten Jahr der Nachwuchsforschergruppe wurde begonnen das Mobilitätskonzept in die Praxis umzusetzen. Das Mobilitätskonzept umfasst dabei die vier Universitätsstandorte und wird diese, zusätzlich zum öffentlichen Personennahverkehr, mit acht Pedelecs und vier Elektrofahrzeugen vernetzen. Für die Ladevorgänge von Elektrofahrzeugen und Elektrofuhrädern wurden vier komplett steuerbare Ladesäulen errichtet und erfolgreich in Betrieb genommen. Die spezielle Software und das Oberflächendesign werden an der TU Chemnitz durch die Professur Nachrichtentechnik entwickelt. Zudem wurde die informationstechnische Vernetzung aller Systemkomponenten fertiggestellt. Für das Projekt wurden vier Elektrofahrzeuge vom Hersteller Smart beschafft, welche im Projekt durch acht Elektrofuhräder von der Firma GHOST zur Gewährleistung von Mobilität für Mitarbeiter unterstützt werden. Durch die Professur Energie- und Hochspannungstechnik wurde die Integration lokaler erneuerbarer Energien in Form einer entwickelten Ladesteuerung vorangetrieben, sowie die Planung und Überwachung sämtlicher Bauvorhaben für das Projekt durchgeführt.



### Fachexkursion zum Heizkraftwerk Chemnitz Nord am 08. Mai 2013

Das Ziel der diesjährigen Exkursion war das Heizkraftwerk Chemnitz Nord. Treffpunkt war 09:45 Uhr am Eingang Blankenburgstraße. Die Anfahrt wurde individuell gestaltet - ein Teil kam mit dem Fahrrad und der andere mit dem PKW. Unser Emeritus Professor Amft hatte sich auch aus Freital auf den Weg gemacht, was uns besonders freute, da er Ende vergangenen Jahres eine große Herz-OP über sich ergehen lassen musste.



Gegen 10:00 Uhr fanden wir uns dann im Vorraum des Speisesaales ein. Nach einer Sicherheitsbelehrung und dem Empfang von Schutzhelmen wurden wir in zwei Gruppen aufgeteilt. Unsere Gruppe wurde von Herrn Kessel geleitet. Ein Vollblutelektrotechniker im Vorruhestand. Er führte uns bei einem zweistündigen Fußmarsch quer durch das Kraftwerksgelände.

Im Heizkraftwerk wird nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Strom und Fernwärme erzeugt. Drei Kraftwerksblöcke stehen dafür zur Verfügung. Zwei auf Basis von einheimischer Rohbraunkohle, mit emissionsarmer Verbrennung, modernster Entstaubung und Entschwefelung des Rauchgases. Ein Block funktioniert mit Erdgas oder alternativ Heizöl. Durch die Vielfältigkeit der verwendeten Brennstoffe in diesem Heizkraftwerk, bezeichnet man dies als einen "Energie-mix".

Mittels dreier Blöcke im HKW können 2 x 67 MW und 1 x 100 MW elektrische Leistung und 1 x 170 MW, 1 x 165 MW und 1 x 140 MW Wärmeleistung erzeugt werden.



Ehe wir unser Mittagessen in der Gaststätte „MIRAMAR“ auf dem Schlossberg einnehmen konnten, mussten wir erst einen ca. 20minütigen Regenguss (ähnlich der Wassermenge im Kühlturm, siehe linkes Foto oben) abwarten. Nach reichlichem Essen ging es anschließend auf die Leipziger Straße in den Botanischen Garten zur Schmetterlingsausstellung. Dort konnten wir einige exotische Arten von farbenprächtigen Schmetterlingen beobachten und sogar direkten „Kontakt“ aufnehmen! (siehe Foto links unten)

Alles in allem war es wieder ein sehr interessanter, abwechslungsreicher und unterhaltsamer Exkursionstag, der bestimmt allen Beteiligten noch lange in Erinnerung bleiben wird.

### 7.3.3 Workshop „Hybride Energiespeichersysteme für die Energiewende“ am 07.11.2013

Eine nachhaltige Energieversorgung auf der Basis von 100 Prozent erneuerbaren Energien benötigt neben leistungsfähigen Übertragungs- und Verteilnetzen eine nennenswerte Kapazität zur Speicherung überschüssiger Energie im Kurzzeit- und Langzeitbereich. So sind in einem derartigen Energiesystem für den Ausgleich saisonaler Schwankungen im Solar- und Windenergieangebot zum Beispiel chemische Langzeitenergiespeicher absolut erforderlich, insbesondere dann, wenn bei geringem Solarenergieangebot (etwa im Winter) eine Windflaute von mehreren Tagen auftritt und überbrückt werden muss. Umgekehrt werden Überschüsse aus erneuerbaren Energien zukünftig sehr billig zur Verfügung stehen und besser bei niedrigem Wirkungsgrad langzeitgespeichert werden als ungenutzt zu bleiben.



Vor diesem Hintergrund wurden am 7. November 2013 an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Technischen Universität Chemnitz innovative hybride Energiespeichersysteme vorgestellt und diskutiert. Die ca. 120 Teilnehmer am traditionellen Herbstworkshop der Professur für Energie- und Hochspannungstechnik tauchten ein in Themengebiete wie die technische und ökonomische Bewertung von Photovoltaik-Speichersystemen zur Eigenverbrauchsoptimierung von Solarstrom, Potenziale und Anwendungsbeispiele für die so genannte Power2Gas-Technologie sowie Forschungsergebnisse und Anwendungserfahrungen aus den Projekten "Hybrider Stadtspeicher" und "Smart Region Pellworm". Außerdem thematisiert wurden Verfahren zur optimalen Auslegung und Betriebsführung hybrider Energiespeichersysteme sowie hybride Energiespeicher zur Spitzenlastabfederung und Effizienzsteigerung in mobilen und stationären Anwendungen.



#### 7.3.4 Weihnachtsfeier am 09. Dezember 2013

Am 09. Dezember diesen Jahres trafen wir uns wie immer in der Vorweihnachtszeit zu unserer schon traditionellen Weihnachtsfeier. In diesem Jahr feierten wir unterhalb der Burg Rabenstein in der Gaststätte „Zur Marketenderie“. Leider fehlte uns diesmal der Schnee, was allerdings der Stimmung keinen Abbruch tat.

Gestartet wurde im Freien mit dem Ausschank von selbst hergestellten (sehr leckeren) Glühwein. Wobei uns der Rauch des offenen Buchenholzfeuers schon ordentlich die Tränen in die Augen drückte.

Die Gaststätte war entsprechend ihrem Namen auch sehr rustikal eingerichtet und dieser Faden zog sich auch bei den Speisen weiter durch! Sehr reichlich und recht deftig gewürzt. So hätte die



Bezeichnung Brotsuppe mit etwas Knoblauch eigentlich die Bezeichnung Knoblauchsuppe mit etwas Brot verdient! Es war aber wie immer ein sehr vergnüglicher Abend und unsere Senioren Herr Professor Amft und Herr Breitfeld bedankten sich ausführlich dafür, dass wir sie auch in diesem Jahr wieder in unsere Runde eingeladen hatten.

Na dann bis zum nächsten Jahr!

## 8 Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik



Praktika:  
 Funkenstrecken  
  
 Erzeugung und  
 Messung hoher  
 Gleich- und Wechsel-  
 spannungen

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



Praktikum:  
 Isolatoren

Abbildung: Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200kV



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

Praktikum:  
Verlustfaktormessung  
( $\tan \delta$ )



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

Praktikum:  
Erzeugen von Stoßspannungen/  
Einfluss der Elemente des  
Stoßspannungsgenerators



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



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

## 9 Laborausstattung

### Hochspannungsprüfung

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

### Trennverstärker

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

### Vor-Ort-Resonanzprüfsystem

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

### Transienten-Mess-System für Impulsspannungsmessung

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

### Digitales Kapazitäts- und Verlustfaktormesssystem LDV-6

Auflösung  $\tan \delta$  bis  $10^{-8}$   
Messbereich Kapazität 0,1 pF - 5  $\mu\text{F}$   
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

Transienten Recorder

8-Kanal Scope Corder DL 708 (YOKOGAWA)

Abtastrate bis 10 Megasample pro s

Auflösung: 10 bit

Datenlogger DA 100 (YOKOGAWA) mit 10 Kanälen

kürzestes Messintervall: 2 s

Speichertiefe: nur begrenzt durch Festplatte des Logger-PC

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

Messgröße: Photonendosisleistung

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

Dosismessbereich: 100 nSv - 10 Sv

EM-Feldanalysator EFA-2 (Wandel & Goltermann)

Frequenzbereich 1: 5 Hz ... 2 kHz

Frequenzbereich 2: 5 Hz ... 30 kHz

Messbereich: 100 nT, 1  $\mu\text{T}$ , 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

### DlgSILENT 15.0.2 und Elektra 3.98

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 2003, VIG 2011

Virtueller Impulsgenerator zur Simulation von Stoßspannungsimpulsen im Internet unter:

<http://vig-simulator.etit.tu-chemnitz.de/vig2003/>

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

## 10 Dienstleistungen

### 10.1 Dielektrische Prüfungen

Wechselspannungsprüfungen bis 200 kV

Stoßspannungsprüfungen bis 600 kV

Gleichspannungsprüfungen bis 140 kV

FGH-Stufentest an Mittelspannungskabeln

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

### 10.2 Diagnosemöglichkeiten

Verlustfaktormessung im Labor

Verlustfaktormessung Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

Teilentladungsmessungen im Labor

Verlustfaktormessung Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

Isotherme Relaxationsstrom-Analyse (IRC) an Energiekabeln

Messungen von Isolations- und Ableitwiderständen

Messungen kleiner Ströme (bis Femto-Ampere-Bereich)

### 10.3 Prüfung der Stromtragfähigkeit

Widerstandsmessungen von Hauptstrombahnen

Hochstromprüfungen, Erwärmungsprüfungen

- Leiteranordnungen
- Geräte
- Schaltfelder

bis 2000 A (größere Ströme auf Anfrage)

### 10.4 Spezielle Messaufgaben

Messung magn. 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)

## **10.5 Virtueller Stoßspannungsgenerator**

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

## **10.6 Netzanalysen**

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

Netzverlustanalysen

Versorgungszuverlässigkeit

Netzoptimierung

## 11 Referenzen

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

- Netzgesellschaft mbH Chemnitz
- Stadtwerke Leipzig GmbH
- ENSO Netz, Dresden
- enviaM

Netzanalyse, Versorgungszuverlässigkeit

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

Betriebsmitteldatenbank

- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH

Netzverluste

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Prognosen zum Elektroenergiebedarf und Spitzenleistungen einzelner Umspannwerke

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Erstellung von Lastprofilen Strom/ Gas

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Bewertung von Investitionsstrategien in der Elektroenergieversorgung

- ENSO Netz, Dresden

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, Dresden

Bewertung transientser Ausgleichsvorgänge in Elektroenergiesystemen

- KEMA-IEV, Dresden

- AREVA, Dresden

#### Spannungsprüfung

- Elektrotechnische Geräte Böhlitz-Ehrenberg GmbH

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

- Landkreis Vogtland

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

- Netzgesellschaft mbH Chemnitz

Entwicklung von Speicherkonzepten im Bereich von 1 bis 10 MW

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Analyse von Nutzungskonzepten für energienahe Dienstleistungen

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG

Definition der anteiligen Planungspegel für Oberschwingungen in Offshore-Netzen

- TenneT Offshore GmbH

**SIEMENS**

**eins**  
energie in sachsen

**KEMA** 

 **Netzgesellschaft  
mbH Chemnitz**

**ALSTOM**

 **ENERCON**  
ENERGIE FÜR DIE WELT

 **STADTWERKE  
ROSTOCK AG**

**ENSO**



**envia** *M*

 **Tennet**  
Taking power further

 **MITNETZ**  
STROM

**HIGH  
VOLT**



 **SÜD**  
ELEKTRORAHT

**Heliocentris** 

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



**Anfahrtsskizze:**

