

**Adresse:**

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

**Dienstsitz:**

Reichenhainer Str. 70  
 A.-F.-Weinholdbau, Raum 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/etit/eneho/kontakt/anfahrt.html> 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.: Antje Voit	+49 371 531 33142	+49 371 531 833142	antje.voit@etit.tu-chemnitz.de
B. Born	+49 371 531 36117	+49 371 531 836117	bjoern.born@etit.tu-chemnitz.de
Dr. 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
J. Lippold	+49 371 531 33341	+49 371 531 833341	juergen.lippold@etit.tu-chemnitz.de
Dr. K. Malekian	+49 371 531 37648	+49 371 531 837648	kaveh.malekian-boroujeni@etit.tu-chemnitz.de
L. Pop	+49 371 531 31434	+49 371 531 831434	liana-maria.pop@etit.tu-chemnitz.de
G. Nourirad	+49 371 531 31355	+49 371 531 831355	ghasem.nourirad@etit.tu-chemnitz.de
F. Safargholi	+49 371 531 31926	+49 371 531 831926	farhad.safargholi@etit.tu-chemnitz.de
M. Stark	+49 371 531 33364	+49 371 531 833364	michael.stark@etit.tu-chemnitz.de
Dr. J. Teuscher	+49 371 531 37752	+49 371 531 837752	jens.teuscher@etit.tu-chemnitz.de

**Redaktion:** Dr. Andreas Götz, Liana Pop

**Titelfoto:** Entladungsvorgänge bei Schaltspannungen (Foto: Akif Gürlek)

# 1 Vorwort

Sehr geehrte Freunde und Partner,

das Jahr 2016 liegt hinter uns. Wir wollen mit unserem Jahresbericht in bewährter Weise Tagebuch führen über das, was wir geleistet haben und was uns bewegt hat.

In Lehre und Forschung können wir auf ein sehr erfolgreiches Jahr zurückblicken. So wurden drei Promotionsverfahren abgeschlossen, nämlich Götz, Malekian und Hunold, worüber im Folgenden noch berichtet wird. Das ist für unsere Ausgangslage eine große Anzahl. Dazu kommt eine Vielzahl von Master- und Bachelorarbeiten.



Mit großer Freude erfüllt uns der Umstand, dass Dr. Thilo Bocklisch, ein langjähriger Mitstreiter, zum 1. März auf die Professur *Energiespeichersysteme* an die TU Dresden berufen wurde. Wir wünschen ihm viel Erfolg in seiner weiteren akademischen Laufbahn und freuen uns auf eine kontinuierliche Zusammenarbeit. So sind seit dem Jahr 2000 immerhin vier Fachhochschulprofessoren und ein Universitätsprofessor aus der Professur hervorgegangen.

Dr. Jens Teuscher hat einen Lehrauftrag für das Fach *Netzberechnung und Schutztechnik* erhalten und die entsprechende Vorlesung im Sommersemester eigenverantwortlich gehalten. Auch ihm gebührt unser Dank und unsere Anerkennung.

Die Ausbildung und Förderung junger, motivierter Menschen ist die vornehmste Aufgabe einer Universität. Staatliche Förderprojekte als auch Drittmittelaufträge aus der privaten Industrie sind Mittel zum Zweck, um einen ausreichenden Personalbestand mit einem entsprechenden Kompetenzvolumen zu sichern.

Zum 1. März erhielten wir von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) den Förderbescheid zu unserem Förderantrag *Optische und elektrische Erfassung von Entladungsphänomenen* an Luftfunkenstrecken, so dass Akif Gürlek, die von Dr. Ali Shirvani begonnenen Arbeiten fortsetzen kann. In diesem Zusammenhang konnte eine Hochgeschwindigkeitskamera angeschafft werden, die es ermöglicht Entladungsphänomene im Nanosekundenbereich zu erfassen.

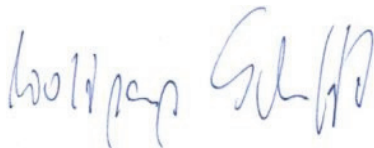
Seit Juli sind wir mit Liana Pop in der durch die Europäischen Sozialfonds (ESF) geförderte Nachwuchsforschergruppe *SyNErgIt* vertreten. Der etwas sperrige Ausdruck *SyNErgIt* steht für *Synergetische Nutzung von Energie- und Informationstechnik*. Damit sind wir ohne Unterbrechung in der vierten ESF Förderrunde vertreten.

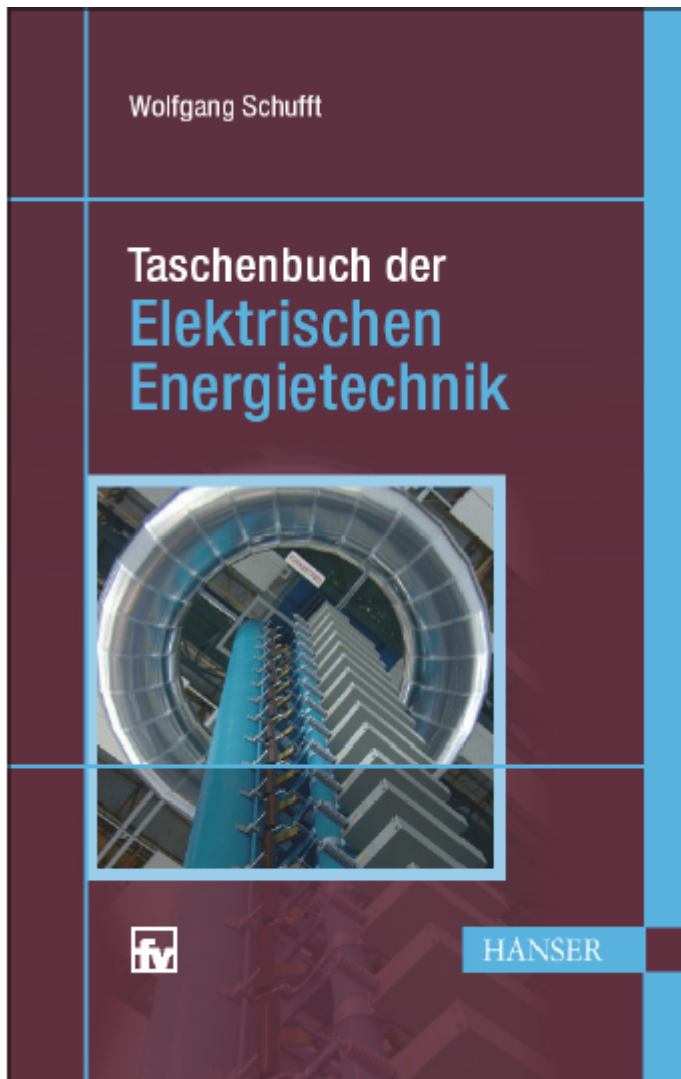
Die Anfängerzahlen in den Bachelor- und Masterstudiengängen sind dank einer hohen Anzahl ausländischer, insbesondere chinesischer Studenten auf einem konstanten Niveau. Seit der Amtseinführung des neuen Rektors Prof. Gerd Strohmeier darf auch über die Wiedereinführung von Diplomstudiengängen nachgedacht werden. Vielleicht steht uns ja hier demnächst ein kleines Wunder bevor.

Wir sehen optimistisch in das kommende Jahr 2017, wünschen auch Ihnen viel Glück, Erfolg und persönliches Wohlergehen und freuen uns auf eine weitere, gute Zusammenarbeit.

Chemnitz im Dezember 2016

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>6</b>
<b>3</b>	<b>Lehre</b> .....	<b>8</b>
3.1	Studienablaufpläne.....	8
3.2	Beschreibung der Lehrfächer der Professur.....	9
<b>4</b>	<b>Forschung</b> .....	<b>11</b>
4.1	Schwerpunkte.....	11
4.2	Aktuelle Promotionsvorhaben.....	13
<b>5</b>	<b>Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten</b> .....	<b>33</b>
5.1	Bachelorarbeiten.....	33
5.2	Masterarbeiten.....	34
<b>6</b>	<b>Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge</b> .....	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Externe Aktivitäten und Kontakte</b> .....	<b>37</b>
7.1	Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien.....	37
7.2	Gäste an der Professur.....	38
<b>8</b>	<b>Höhepunkte</b> .....	<b>39</b>
8.1	Erneuerung des Wechselspannungs-Prüfsystems.....	39
8.2	Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Andreas Götz am 02. Februar 2016.....	40
8.3	Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Kaveh Malekian-Boroujeni am 22. April 2016.....	41
8.4	Bewilligung des Forschungsprojektes „SyNERgt“ ab Juli 2016.....	42
8.5	Fachexkursion der Professur am 16.06.2016.....	43
8.6	Verleihung des Universitätspreises 2016 an M.Sc. Alexander Klitzsch am 19. Oktober 2016.....	45
8.7	Ausstellung „Industriestadt Chemnitz – E-mobil in die Zukunft“ in der Galerie Roter Turm.....	46
8.8	Workshop „Vernetze Elektromobilität an der TU Chemnitz“ am 03. November 2016.....	47
8.9	Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Sven Hunold am 15. Dezember 2016.....	48
8.10	Weihnachtsfeier am 15. Dezember 2016.....	49
<b>9</b>	<b>Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik</b> .....	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>Laborausstattung</b> .....	<b>53</b>
<b>11</b>	<b>Dienstleistungsangebote</b> .....	<b>56</b>
11.1	Dielektrische Prüfungen.....	56
11.2	Diagnosemöglichkeiten.....	56
11.3	Prüfung der Stromtragfähigkeit.....	56
11.4	Spezielle Messaufgaben.....	56
11.5	Virtueller Stoßspannungsgenerator.....	57
11.6	Netzanalysen.....	57
<b>12</b>	<b>Referenzen</b> .....	<b>58</b>

## 2 Personelle Besetzung



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



Dr.-Ing. Thilo Bocklisch  
(Habilitation bis 03/16)  
Lehrbeauftragter



Dipl.-Ing. Michael Böttiger  
Doktorand bis 04/16



Dipl.-Ing. Björn Born  
Doktorand



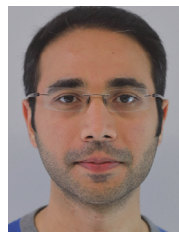
Dr.-Ing. Andreas Götz  
Promovierter Mitarbeiter seit 02/16



Dipl.-Ing. Akif Gürlek  
Doktorand



M.Sc. Suleiman Hadid  
Doktorand



B.Sc. Abdullah Hoshmeh  
Doktorand



Jürgen Lippold  
Technischer Angestellter



Dr.-Ing. Kaveh Malekian-Boroujeni  
Promovierter Mitarbeiter seit 04/16



Prof. Dr.-Ing. Norbert Menke  
LVV mbH  
Lehrbeauftragter



M.Sc. Ghasem Nourirad  
Doktorand



Dipl.-Ing. Martin Paulitschke  
Doktorand bis 04/16



Dr. rer. nat. Ralf Pietsch HIGHVOLT  
Dresden



M.Sc. Liana Pop  
Doktorandin seit 07/16



M.Sc. Farhad Safargholi  
Doktorand



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



Michael Stark  
Technischer Angestellter



Dr.-Ing. Jens Teuscher  
Promovierter Mitarbeiter



B.A. Antje Voit  
Sekretariat

## 3 Lehre

### 3.1 Studienablaufpläne

Lehrfach	Lehrverant- wortlicher	Bachelor Elektrotechnik				Master Energie- u. Automatisie- rungssysteme	
		3. Sem.	4. Sem.	5. Sem.	6. Sem.	7. Sem.	8. Sem.
<b>Basismodule:</b>							
Elektrische Energietechnik/Nachhal- tige Elektroenergieerzeugung	Schufft	2 1 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	Teuscher						1 1 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

### 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: 7 Vorlesungen / 7 Übungen

**Dr. Teuscher**

Inhalt: Netztopologie, Leistungsflussberechnungen in Strahlen-, Ring- und Maschennetz, Methoden zur Kurzschlussberechnung (symmetrisch und unsymmetrisch), Schutzmaßnahmen im Niederspannungsnetz, Schutz im Mittelspannungsnetz, Schutzkriterien und Sensoren

**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 Erzeuger 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 Grafik sind die Forschungsschwerpunkte mit den entsprechenden Arbeitsgebieten der Professur aufgezeigt, welche ebenso die thematische Überschneidung von Forschungsinhalten wiedergibt. 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 (Nachwuchsforscherguppen fahrE und ECoMobility)

**Modellierung zukünftiger Niederspannungsnetze:**

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

**Speichersysteme für eine nachhaltige Energieversorgung**

- Intelligente dezentrale Energiespeichersysteme (Nachwuchsforscherguppe 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 Einspeisecharakteristik von Photovoltaik und Windenergie in der Mittelspannungsebene
- Energieeffiziente Netzauslastung (Nachwuchsforscherguppe „SyNErgIT“)

**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 Mittelspannungs-Massekabeln durch Masseverarmung in Gefällestrecken
- 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 (Verbundprojekt Netzharmonie)
- 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.

<b>Born, B.:</b>	Klassifizierung von Niederspannungsnetzknotten hinsichtlich potentieller Anschlusskonfigurationen von Erzeugungseinheiten Regenerativer Energien
<b>Böttiger, M.*:</b>	Beitrag zur prädiktiven modellbasierten optimierenden Betriebsführung von PV-Batteriespeichersystemen
<b>Gürlek, A.:</b>	Untersuchungen an der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung mit großen Elektrodenabständen bei Blitzspannungen
<b>Hadid, S.:</b>	Untersuchung der Einflussfaktoren auf den frequenzabhängigen Verlustfaktor an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln
<b>Hoshmeh, A.:</b>	Einsatz von $\pi$ -Gliedern zur frequenzabhängigen Kabelmodellierung
<b>Kühnert, D.*:</b>	Entwicklung einer intelligenten Ladesteuerung für Elektrofahrzeuge in einem Mobility-On-Demand-Konzept unter der Nutzung lokaler regenerativer Energien
<b>Liebmann, R.*:</b>	Wertorientierte Unternehmensführung von Verteilnetzbetreibern durch Optimierung der Werttreiber Investition und Instandhaltung
<b>Nourirad, G.:</b>	Untersuchungen zu Störeinflüssen auf die Verlustfaktormessung und ihrer Reproduzierbarkeit
<b>Paulitschke, M.*:</b>	Untersuchung eines Partikel-Schwarm-Optimierers zur Auslegung von autarken Energieversorgungssystemen
<b>Pop, L.:</b>	Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Verteilnetzen mit komplexer Erzeuger- und Verbraucherstruktur
<b>Lindner, J.*:</b>	Intelligente Energiebereitstellung mit PV-, Windenergieanlage und Hybridspeichersystem für Industriebetriebe
<b>Safargholi, F.:</b>	Ansätze zur Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle am Netzan-schlusspunkt

\* externe Promotion bzw. Zweitgutachterfunktion



## **Klassifizierung von Niederspannungsnetzknotten hinsichtlich potentieller Anschlusskonfigurationen von Erzeugungseinheiten Regenerativer Energien**

Dipl.-Ing. Björn Born

Aus den Entwicklungen bei der Integration Erneuerbarer Energieerzeuger in das System der Elektrischen Energieversorgung ergeben sich eine veränderte Zielsetzung bei der Auswahl der möglichen Erzeugerstandorte. Zusätzlich zu den Bemühungen jede installierte Anlage weitestgehend ohne bauliche Erweiterung der vorhandenen Netzstruktur in diese zu integrieren, wurden neue regulatorische Rahmenbedingungen verabschiedet, welche die Einbindung der Erneuerbaren Energieerzeuger bestimmen. Die Deckelung der Subventionen für die Leistungsabnahme und der bereits vorangeschrittene Ausbaugrad an jenen Anlagen verändern die Zielstellungen an die Bewertungsverfahren für die Auswahl an geeignete Standorte. Insbesondere aus Sicht des Niederspannungsnetzes ergibt sich ein Bedarf nach genaueren Verfahren zur Auswahl der Einspeisepunkte. Um die Anforderung an diese Bewertung genauer darstellen zu können soll zunächst auf bereits entwickelte Verfahren eingegangen werden.

Nach den Arbeiten von SCHEFFLER[1] wird das Potential für die Integration von Erzeugereinheiten Regenerativer Energien und die damit verbundene Bewertung der Netzabschnitte im wesentlich von der Siedlungsstruktur bestimmt. Zu deren genauen Analyse werden zusätzlich mögliche Planungsvorgaben der Verteilnetzbetreiber einbezogen. Zusammen betrachtet ergibt sich somit der Überblick über den Netzbezirk mit den vorhandenen und kommenden Betriebsmitteln und dem Auftreten von Erzeugung und Verbrauch in diesem. Für die Verbraucher wird deren Charakteristik anhand von Lastgängen ermittelt und prognostiziert. Die elektrische Charakteristik der vorhandenen und potentiellen Photovoltaikeinheiten wird durch die maximale Einstrahlung und die Anlagenkonfiguration bestimmt. Aus diesen Angaben kann ein Modell abgeleitet werden, welches die Netzstruktur mit den Lastgängen und den Erzeugungsentwicklungen verknüpft. Hierzu dienen bei diesem Verfahren insbesondere die als einzelne Einheiten betrachteten Netzstrahlen als Basis für die Bestimmung der zulässigen Anschlussleistung.

In der Dissertationsschrift von KERBER[2] wird die Bewertung der Aufnahmefähigkeit von Erzeugungsanlagen Regenerativer Energien bereits an Beispielnetzen ausgelegt. Auch hier wird vorrangig von Photovoltaikanlagen als Erzeuger ausgegangen. Über die typischen Siedlungsstrukturen wurde zunächst anhand von beispielhaften Berechnungen für eine feste Nennleistung der Erzeugungseinheiten deren potentielle Aufnahmekapazität ermittelt. In Folge dessen wurden Netzstrukturen die vorrangig im städtischen und dicht bebautem Gebiet vorhanden sind von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen, da sie die als relevant angesetzte Nennleistung ohne Einschränkung mit einbinden können. Lediglich für dünne Bebauungsformen wurde dies nicht erreicht. Daher wurden für diese 80 Netzgebiete statistisch ausgewertet und daraus typische Netzformen ausgewählt, die ferner als Beispielnetze benutzt wurden. Das vorhandene Photovoltaikpotential wurde durch eine Untersuchung der Dachflächenpotentiale in diesen Netzabschnitten ermittelt. Für die Beispielnetze und der ermittelten Photovoltaikpotentiale wurde unter der Berücksichtigung der festgelegten Nennleistung der mögliche Prozentsatz an potentiellen Erzeugungsanlagen ermittelt und dessen Abhängigkeit von der Berücksichtigung von verschiedenen Betriebsführungsrichtlinien für elektrische Netze dargestellt.

Die beiden Vorgehensweisen beziehen sich immer im Wesentlichen auf die Siedlungsstruktur und leiten für die als Modell entwickelten Konfigurationen Potentiale für das gesamte betrachtete Netzgebiet ab. Um nun die Berechnungen auf die bereits erwähnten geänderten regulatorischen und systematischen Randbedingungen anzupassen, müssen die Ansätze hinsichtlich der einzelnen Anschlusspunkte im Netz angepasst werden. Hierfür soll ein Verfahren entwickelt werden, welches für die bereits ermittelten speziellen Netzstrukturen die einzelnen Netzknoten unter Berücksichtigung der umgebenden Netzstruktur, ihrer potentiellen Erzeugungseigenschaften und des anliegenden Verbrauchsverhaltens bewertet werden. In dieses Verfahren sollen besonders verfeinerte Modelle für die Energieerzeugung und den Energieverbrauch eingehen, um die Aussagen über die einzelnen Anschlussknoten zu spezifizieren. Zudem ermöglicht die systematische Untersuchung der Netzstruktur aus Sicht der einzelnen Anschlusspunkte neue Möglichkeiten für die Verbesserung der Bewertung, da hierfür genau die Lastverläufe für geänderte Ausgangssituationen eingebunden werden können. Ziel dieser Überlegungen ist eine priorisierte Bewertung aller vorhandenen Netzknoten in Kombination mit einem Netzmodell, um genaue Aussagen über den gestaffelten Zubau zu ermöglichen.

[1] Jörg Scheffler. Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Erzeugungswandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten. Dissertationsschrift. Technische Universität Chemnitz. 2002.

[2] Georg Kerber. Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsverteilnetzen für die Einspeisung aus Photovoltaikanlagen. Dissertationsschrift. Technische Universität München. 2011.



## Beitrag zur prädiktiven modellbasierten optimierenden Betriebsführung von PV-Batteriespeichersystemen

Dipl.-Ing. Michael Böttiger

Die Transformation des deutschen Energieversorgungssystems hin zu 100 % Erneuerbaren ist im vollen Gange. Energiespeicher sind für das Erreichen dieses Szenarios als zusätzliche Flexibilisierungsoption von großer Bedeutung. Herausforderungen, wie z.B. die Belastung der Verteilnetze durch die relativ starken Schwankungen und Spitzenleistungen im erneuerbaren Energieangebot, die Überlastungen von Betriebsmitteln sowie Spannungsbandverletzungen können mit Hilfe von Energiespeichern bewältigt werden. Im Hausbereich sind in den vergangenen Jahren vermehrt Lithium-Ionen-Batterien zum Tag-Nachtausgleich (Eigenverbrauchsoptimierung) eingesetzt worden.

Für einen „optimalen“ Betrieb des Gesamtsystems spielen zukünftig neben der Eigenverbrauchsoptimierung, die Komponentenlebensdauer, sowie der netzdienliche Betrieb des Speichers eine wichtige Rolle. Aufbauend auf dem in [1] vorgestellten neuartigen optimierenden Betriebsführungsverfahren, welches auf dem Prinzip der Dynamischen Programmierung beruht, präsentiert dieser Beitrag Ergebnisse zur Verbesserung der Robustheit des Algorithmus. Bisherige Ergebnisse haben gezeigt, dass die Anwendung der Dynamischen Programmierung zur Lösung der mehrkriteriellen Optimierungsaufgabe gegenüber Prognoseunsicherheiten der Eingangsdaten (PV- und Last) anfällig ist [1]. Zur Kompensation der Abweichungen zwischen prognostizierten und eingetretenen PV- und Lastdaten wird um den in der Optimierung ermittelten Ladezustandsverlauf ein Toleranzband gelegt. Abbildung 1 illustriert den Ladezustand der Lithium-Ionen-Batterie für zwei Beispieltage.

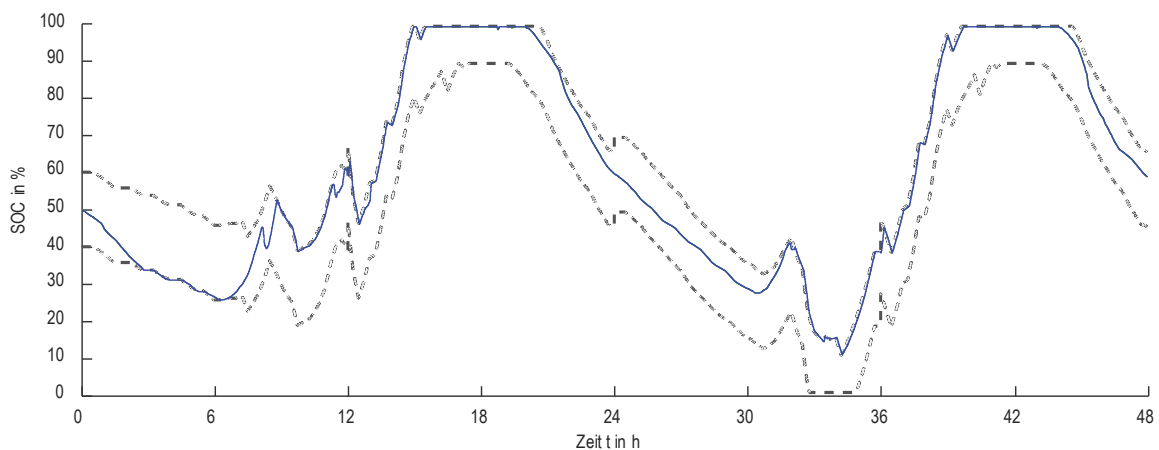


Abbildung 1: Blaue Linie - realer Ladezustand, grau gestrichelte Linie – Toleranzband des idealen in der Optimierung mit Dynamischer Programmierung ermittelten Ladezustandes ( $\pm 10\%$ )

Die grau gestrichelte Linie stellt den idealen, mit Hilfe der Dynamischen Programmierung ermittelten, Ladezustandsverlauf und einem Toleranzband von  $\pm 10\%$  dar (SOC-Band). Der blaue Verlauf kennzeichnet den real eingetretenen Ladezustand. Innerhalb des Toleranzbandes arbeitet die Betriebsführung prioritätsbasiert. Falls PV-Überschüsse vorhanden sind, erfolgt die Ladung der Batterie, liegt ein Leistungsdefizit vor, findet die Entladung der Batterie statt. Sobald die obere bzw. untere Grenze des Toleranzbandes erreicht wird, muss der in der Optimierung ermittelte Leistungswert eingehalten werden. Positive und negative Prognoseabweichungen innerhalb des Toleranzbandes gleichen sich aus. Eine Untersuchung



der Breite des SOC-Bandes soll Aufschluss geben, welche Werte zu geeigneten Ergebnissen führen. Grundlage hierfür ist die Jahressimulation eines AC-gekoppelten PV-Batteriespeichersystems unter der Verwendung von realen Messdaten (Referenzobjekt nahe Chemnitz, PV: 5 MWh, Last: 4 MWh) mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde. Die Prognosen für PV- und Lastzeitreihe werden über einen Tagespersistenzansatz realisiert. Die maximale Netzeinspeiseleistung beträgt in diesem Szenario 1500 W. Anhand der Kriterien Selbstversorgungsgrad  $k_{SVG}$ , Eigenverbrauchsquote  $k_{EVQ}$ , Abregelverluste  $k_{ARV}$ , Stromkosten  $k_{el}$ , Zyklenzahl  $k_{VZ}$  und einen Batteriestressfaktor  $k_{Batt,S}$  zur Bewertung der kalendarischen Alterung erfolgt die Bewertung der Simulation. Die Ergebnisse der SOC-Toleranzbandanalyse sind in Abbildung 2 zu sehen.

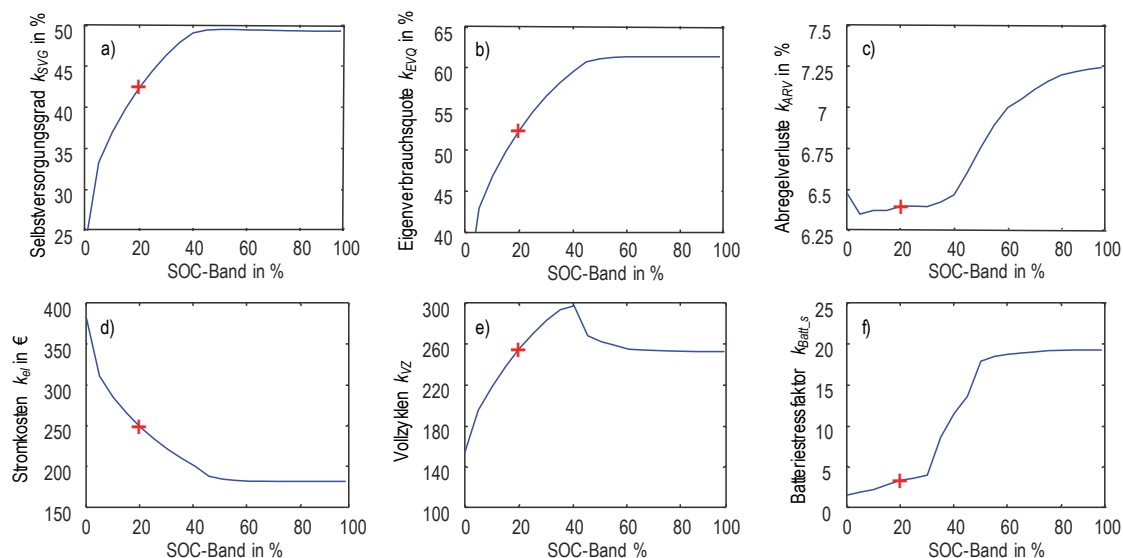


Abbildung 2: Ergebnisse Toleranzbandanalyse, a) Selbstversorgungsgrad, b) Eigenverbrauchsquote, c) Abregelverluste, d) Stromkosten, e) Vollzyklen, f) spez. Batteriestressfaktor

Ein SOC-Band von 0 % liefert für Selbstversorgungsgrad (25 %), Eigenverbrauchsquote (<40 %) und die sich ergebenden Stromkosten (380 €) keine guten Ergebnisse. Der schonende Betrieb der Batterie wird mit nur 150 Vollzyklen und einem Batteriestressfaktor von ca. 2 % gewährleistet. Je größer das Toleranzband, umso besser fallen die Ergebnisse Selbstversorgung, Eigenverbrauch und Stromkosten aus. Ab einem Toleranzband von 40 % stellt sich für diese Größen keine Verbesserung mehr ein. Anders verhält es sich bei den Vollzyklen, diese erreichen bei einem Toleranzband von knapp 40 % ihr Maximum von 300 und sinken dann wieder auf rund 260 Vollzyklen. Der Batteriestressfaktor nimmt mit steigendem SOC-Band monoton zu. Im Bereich zwischen 25 % und 50 % ist ein besonders steiler Anstieg des Wertes zu verzeichnen. Das rote Kreuz (SOC-Band von 20 %) kennzeichnet für dieses Beispiel einen geeigneten Arbeitspunkt. Die jährlichen Stromkosten liegen mit 50 € zwar über dem Idealwert, jedoch nehmen die zur Beschreibung der Batterielebensdauer herangezogenen Kriterien für diesen Arbeitspunkt günstige Werte an. Weiterführende Informationen sind in [2] zu finden.

Im nächsten Schritt soll in einer umfangreichen Untersuchung der Einfluss verschiedener Prognoseverfahren (PV und Last) analysiert werden. Weiterhin steht die Implementierung der stochastischen Dynamischen Programmierung als eine weitere Verbesserung des Optimierungskerns an.

[1] Böttiger, M.; Bocklisch, T.; Paulitschke, M.: "Optimizing model-based energy management for a photo-voltaic battery system", 9. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2015, Eurosolar, Düsseldorf, 2015

[2] Böttiger, M.; Bocklisch, T.; Paulitschke, M.: "Innovative reactive energy management for a photovoltaic battery system", Energy Procedia, vol. 99, pp. 241-349 2016, DOI:10.1016/j.egypro.2016.10.124



## Untersuchungen an der Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung mit großen Elektrodenabständen bei Blitzstoßspannungen

Dipl.-Ing. Akif Gürlek

Das Hauptanliegen dieses Forschungsvorhaben besteht darin, einen Beitrag zur Modellierung des rückwärtigen Überschlages zu leisten. In heutigen Simulationsprogrammen wie ATP/EMTP stehen beispielsweise für Netzsimulationen zur Isolationskoordination lediglich mathematisch ungenaue Modelle (messtechnisch nicht verifiziert) für die Berechnung schnellveränderlicher Vorgänge infolge direkter Blitzeinschläge in den Leitern zur Verfügung. Bisher wird das Verhalten des rückwärtigen Überschlages für eine statistische Auswertung nicht in Betracht gezogen oder es werden Werte (aus mathematischer Modellierung) mit einem hohen Sicherheitsfaktor beaufschlagt.

Im Rahmen der Arbeit von Shirvani [1] konnte erstmals das Durchschlagverhalten bei Blitzspannung messtechnisch ermittelt und anschließend beschrieben werden. Um die Messung zu realisieren, wurde ein Messsystem entwickelt, mit welchem kleine Vorentladeströme (wenige 10 A) bei sehr hoher Spannung (bis zu 2,4 MV) aufgenommen werden können. Des Weiteren wurde mit einer Hochgeschwindigkeitskamera eine Fotosequenz mit einer Bildreihenfolge von bis zu 8 Bildern aufgenommen. Für die Ermittlung des grundsätzlichen Verhaltens wurden Messungen an einer Spitze-Platte-Elektrodenanordnung durchgeführt.

Für den realen Anwendungsfall des rückwärtigen Überschlages bedarf es an weiterem Forschungsbedarf. Hier gilt es, die im Grundsatz ermittelten Zusammenhänge an einer realen Elektrodensatzanordnung zur Nachbildung eines Hochspannungsfreileitungsisolators zu prüfen und nachzuweisen. Werden lediglich die Lichtbogenschutzarmaturen des Isolators betrachtet, so ist der Anordnung zu entnehmen, dass sie zwei gegenüberliegende Spitzen darstellen. Um den Isolator zu Messzwecken auf eine Ersatzanordnung zu überführen, wird sich für eine Spitze-Spitze-Elektrodenanordnung entschieden.

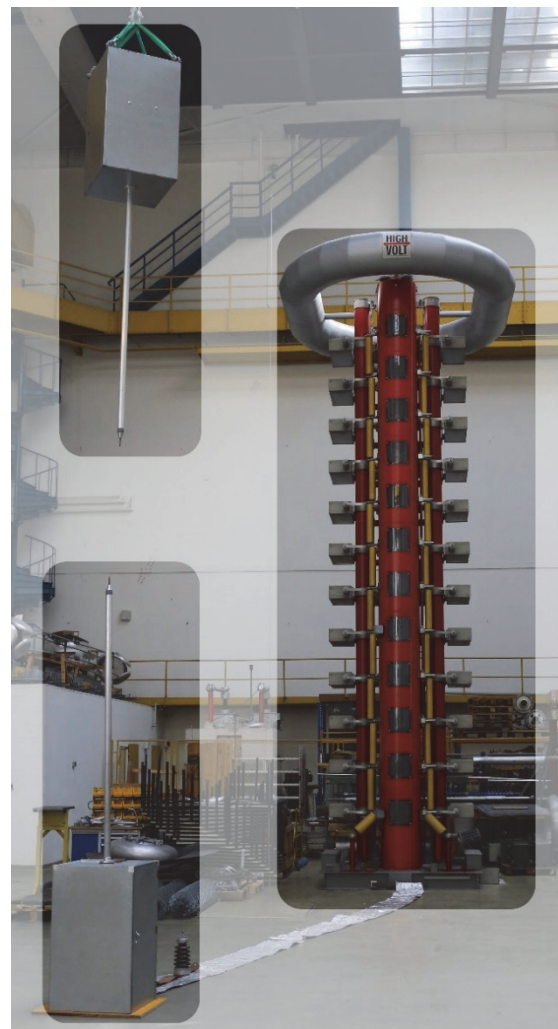


Abbildung 3: Messanordnung zur synchronen Erfassung der Vorentladeströme beidseitiger Elektroden

Für diese symmetrische Elektrodenanordnung kann nicht explizit bestimmt werden, von welcher Elektrode die Entladungen beginnen, bzw. den höchsten Einfluss auf das Entladungsverhalten bei einem Durchschlag haben. Aus diesem Grunde bedarf es an beiden Seiten der Elektroden einer gleichzeitigen Messung des Stromes. Hierfür wurde ein Messsystem entwickelt (siehe Abbildung 1), bei dem eine synchrone Messung des Vorentladungsstroms an beiden Enden der Elektroden möglich ist. So lässt sich der Einfluss beider Seiten auf den Durchschlagprozess ermitteln. Neben der Strommessung wird mithilfe einer Bildverstärkerkamera das Entladungsverhalten in einer Bildsequenz aufgenommen.

Zur Verdeutlichung einer Messung, wird beispielhaft auf die Abbildungen 2 und 3 verwiesen.

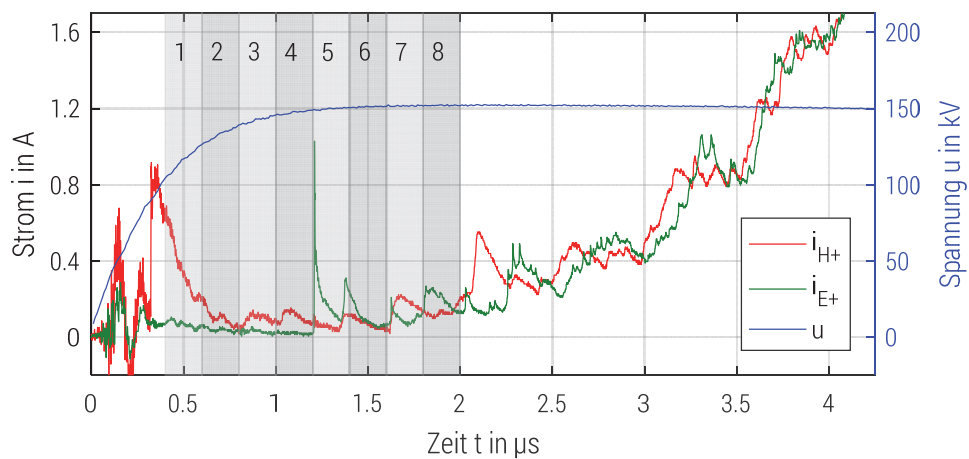
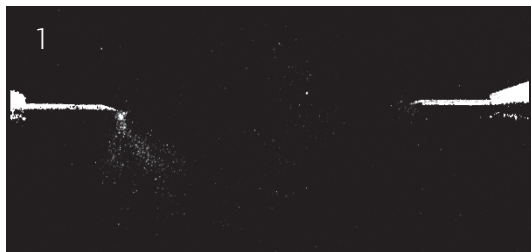
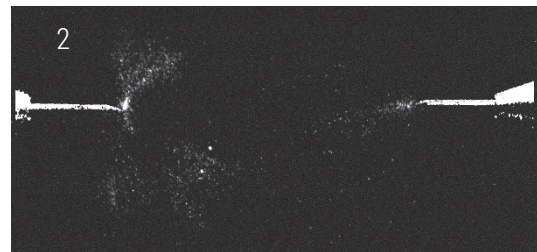


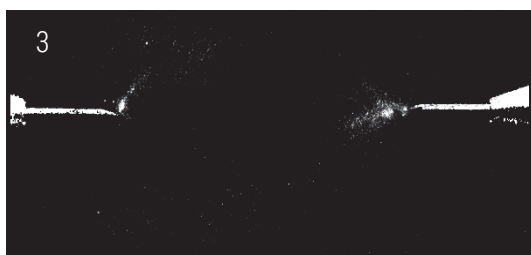
Abbildung 2: Spannungs- und Stromverlauf für  $s=20\text{ cm}$ , bei  $U = 0,93 U_{d50}$



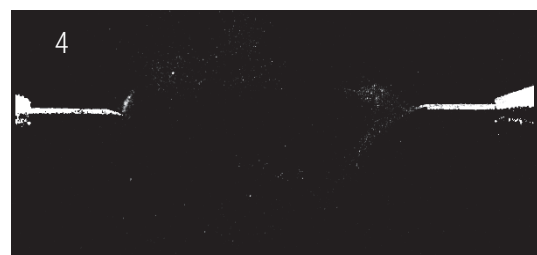
a) Zeitabschnitt 1:  $0,4\ \mu\text{s} < t < 0,6\ \mu\text{s}$



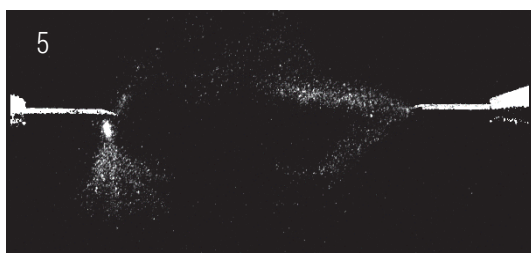
b) Zeitabschnitt 2:  $0,6\ \mu\text{s} < t < 0,8\ \mu\text{s}$



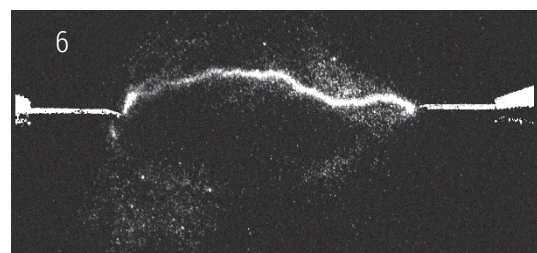
c) Zeitabschnitt 3:  $0,8\ \mu\text{s} < t < 1,0\ \mu\text{s}$



d) Zeitabschnitt 4:  $1,0\ \mu\text{s} < t < 1,2\ \mu\text{s}$



e) Zeitabschnitt 5:  $1,2\ \mu\text{s} < t < 1,4\ \mu\text{s}$



f) Zeitabschnitt 6:  $1,4\ \mu\text{s} < t < 1,6\ \mu\text{s}$

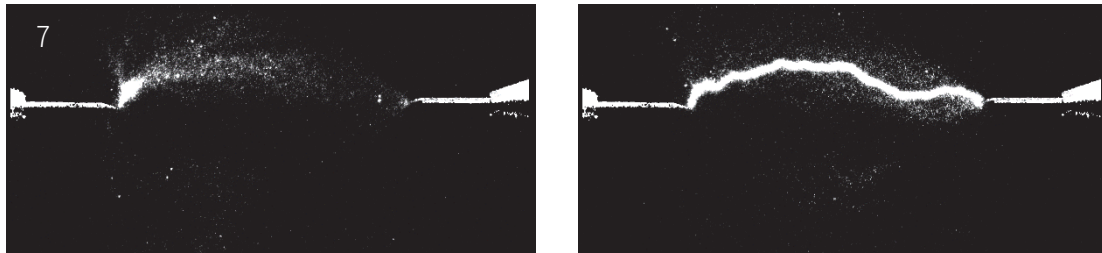
g) Zeitabschnitt 7:  $1,6 \mu\text{s} < t < 1,8 \mu\text{s}$ h) Zeitabschnitt 8:  $1,8 \mu\text{s} < t < 2,0 \mu\text{s}$ 

Abbildung 3: Bildsequenz für die in Abb.2 gemessenen Spannungs- und Stromverläufe, Hochspannungselektrode: links, Erdelektrode: rechts

Die Abbildung 2 stellt die Erfassung der elektrischen Parameter dar, welche mit den Oszilloskopen (Strommessung am Hochspannungspotential  $I_{H+}$  und Erdpotential  $I_{E+}$ ) und dem Transientenrekorder (Spannungsmessung  $u$ ) aufgezeichnet wurden. Des Weiteren stellt die Abbildung 3 die dazugehörige fotografische Aufzeichnung dar, um den Entladungsvorgang beobachten zu können.

In der Abbildung 2 sind zum einen die Stromverläufe beider Elektroden und zum anderen der Spannungsverlauf zu beobachten, die in diesem Verlauf miteinander synchronisiert wurden. Weiterhin entsprechen die als grau markierten Flächen den Zeitabschnitten, in der die einzelnen Fotografien aufgenommen wurden. So wurde beispielsweise das erste Bild der Sequenz in einem Zeitabschnitt von  $0,4 \mu\text{s} < t < 0,6 \mu\text{s}$  aufgenommen. Die Belichtungszeit entspricht der Differenz zwischen Beginn und Ende des Zeitabschnitts,  $\Delta t = 200 \text{ ns}$ . Die dazugehörige Entladungsbild ist in Abbildung 3a zu finden. Hierbei ist die in dem Bild links aufgeführte Elektrode die Hochspannungselektrode und die rechts aufgeführte Elektrode der Erdelektrode.

Der Synchronisationsfehler aller Parameter (2x Ströme, 1x Spannung, 1x Bildsequenz) liegt dabei unter 5 ns. Die Messung wurde bei einem Elektrodenabstand  $s = 20 \text{ cm}$  aufgenommen, bei dem ein Durchschlag eingetreten ist. Die Höhe der Durchschlagsspannung betrug 153 kV.

Anhand der Bilder ist gut zu erkennen, wie der Entladungsvorgang bei einer Spitze-Spitze Elektrodenanordnung vonstattengeht. Zunächst sind an den Elektroden unabhängig voneinander Entladungen sichtbar (Abbildung 3a – 3d). Diese entsprechen Streamerentladungen. Deren Ausprägung weisen jedoch Unterschiede auf. Am Hochspannungspotential entwickeln sich Streamer radial symmetrisch in den Ladungsraum hinein. Wohingegen Streamer an der Erdelektrode der Gegenelektrode entgegen gerichtet sind. Sobald die Ladungsträger von der Hochspannungselektrode die Erdelektrode erreicht haben, sind verstärkte Streamer zu verzeichnen (siehe Abbildung 3e), die sich zurück zur Hochspannungselektrode bewegen. Nun bildet sich von beiden Seiten eine kanalartige Entladung aus (siehe Abbildung 3f), die nicht unbedingt zu einem Durchschlag führen muss (siehe Abbildung 3g). Bei erneuter Überbrückung kommt es schließlich zu einem Durchschlag (siehe Abbildung 3h).

Die Entladung, welche in der Abbildung 3g auftritt, ist sehr selten. In den meisten Fällen kommt es bei einer kanalartigen Entladung direkt zu einem Durchschlag, wobei unterschiedliche Intensitäten des Kanals aufgrund der kleinen Stromstöße in Abbildung 2 ( $1,25 \mu\text{s} < t < 1,8 \mu\text{s}$ ) zu verzeichnen sind.

- [1] Shirvani-Boroujeni, A.: Ein Beitrag zum Entladungsverhalten langer Luftfunkenstrecken bei Blitzspannung. Technische Universität Chemnitz. Dissertation, 2014
- [2] Gürlek, A.; Shirvani A.; Malekian, K.; Schufft, W.: Breakdown Process of long Air Gaps on Rod-Rod Electrodes by Lightning Voltages. 19th International Symposium on High-Voltage Engineering, Pilsen, 2015. ISBN 978-80-261-0476-6
- [3] Gürlek, A.; Ghasem, N.; Shirvani A.; Schufft, W.: A Measurement System to investigate the Breakdown Process of Lightning Impulses on the Rod-Rod Electrode. 19th International Symposium on High-Voltage Engineering, Pilsen, 2015. ISBN 978-80-261-0476-6



## Untersuchung der Einflussfaktoren auf den frequenzabhängigen Verlustfaktor an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln

M. Sc. Suleiman Hadid

Die Verlustfaktormessung ist ein Verfahren zur Bestimmung des integralen Zustandes von Kabelanlagen. Eine Veränderung des Verlustfaktors  $\tan \delta$  wird hauptsächlich durch die globale Alterung des Kabels verursacht. Um aussagekräftige Informationen durch die Verlustfaktormessung zu erhalten, sollten die Messergebnisse erstens reproduzierbar sein und zweitens eine zeitliche Tendenz, mit der betrieblichen Alterung des Kabels, zeigen.

### Die Verlustfaktormessung und deren Einflussfaktoren

Zur Verlustfaktormessung wurden in den letzten Jahren unterschiedliche Messgeräte mit unterschiedlichen Messprinzipien entwickelt. Beispiele dafür sind die Ermittlung der Phasenverschiebung der Stromsignale (vektorielle Impedanzmessung) oder die Frequenzbereichsspektroskopie. Abbildung 1 zeigt den Messaufbau der vektoriellen Impedanzmessung. Bei dieser Messmethode wird die Phasenverschiebung der Ströme durch einen Referenzkondensator und durch das zu untersuchende Kabel gemessen. So kann der Verlustfaktor  $\tan \delta$  nur bei einem Frequenzwert und stufenlos bis zu bestimmten Spannungswerten gemessen werden. Damit kann der Einfluss der Spannung bei einer diskreten Frequenz auf den Verlustfaktor  $\tan \delta$  untersucht werden.

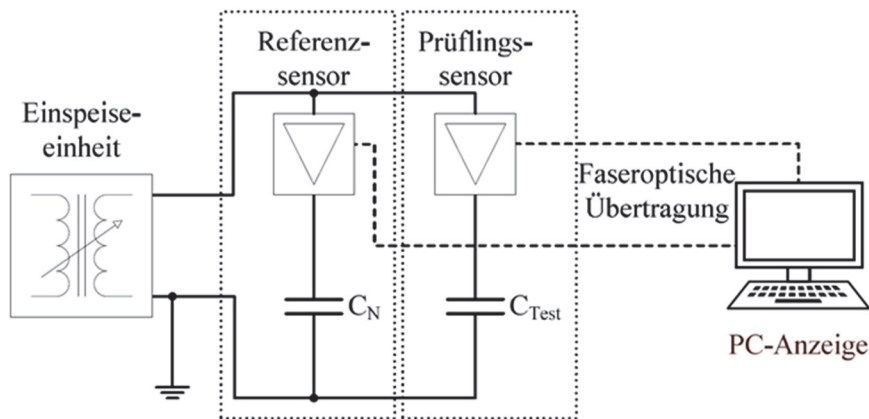


Abbildung 1: Schematischer Messaufbau der vektoriellen Impedanzmessung

Zur Untersuchung des Einflusses der Frequenz, kann die Frequenzbereichsspektroskopie verwendet werden. Dabei wird der Verlustfaktor  $\tan \delta$  bei geringen Spannungswerten bis 200 V mittels DIRANA (Dielectric Response ANALyzer) im Frequenzbereich von mHz bis kHz gemessen. Der Messaufbau ist in Abbildung 2 angegeben. Dabei wird im Prüfling durch eine Spannungsquelle ein elektrisches Feld erzeugt. Mit einem Amperemeter wird der durch diesen Prüfling fließende Strom gemessen und mittels einer Software die komplexe Impedanz ausgewertet. Dies beinhaltet, dass bei jedem einzelnen Frequenzpunkt erst gemessen wird, nachdem sich ein eingeschwungener Zustand eingestellt hat. Dieser ist nach vier Perioden anzunehmen. Für niedrige Frequenzen stellen sich deshalb lange Messzeiten ein. Ein Guard-Anschluss dient dazu, Oberflächenströme vom Prüfling abzuleiten, so dass nur der Strom durch den Prüfling gemessen wird.

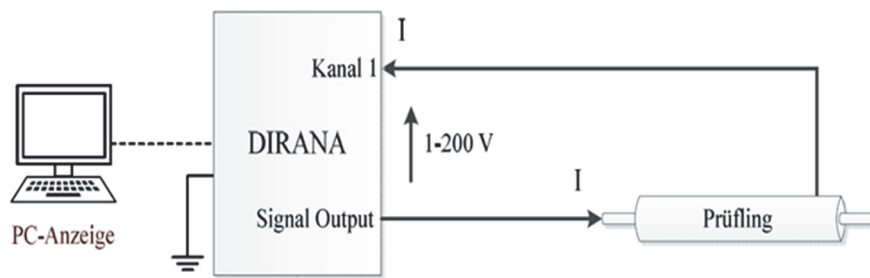


Abbildung 2: Schematischer Messaufbau zu Verlustfaktormessung mittels Frequenzbereichsspektroskopie

Darüber hinaus sollte zwischen Einflussfaktoren auf den Verlustfaktor  $\tan \delta$  selbst und den Einflussfaktoren auf die Verlustfaktormessung, die sogenannten Störeinflüsse, unterschieden werden. Zu den Einflussfaktoren auf den Verlustfaktor  $\tan \delta$  zählen Feldstärke, Frequenz, Temperatur, Wassergehalt, der molekulare Aufbau der Hauptisolierung und der Leitschichten. Die Störeinflüsse wie relative Luftfeuchtigkeit, Kabelreiniger, Oberflächenströme, Erdung usw. sollten so minimal wie möglich sein, um die Verlustfaktormessung nicht zu verfälschen. Nachfolgend soll nun die Spannungs- und Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan \delta$  vorgestellt werden.

## Ergebnisse der Untersuchungen

### Kabelvorbereitung und Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Untersuchungen wurden an neuwertigen und betriebsgealterten VPE-isolierten Mittelspannungskabeln unterschiedlicher Kabelhersteller Verlustfaktormessungen durchgeführt. Neuwertige Kabel sind neue Kabel, die noch nie im Betrieb waren und nur für Untersuchungszwecke im Labor verwendet wurden. Zum einen wurde die Spannungsabhängigkeit betrachtet, indem der Verlustfaktor  $\tan \delta$  bei 50 Hz und bei Resonanzfrequenz im Bereich von 40 bis 250 Hz bei unterschiedlichen Spannungsamplituden gemessen wurde. Weiterhin wurde die Frequenzabhängigkeit in einem Frequenzbereich von 0,001 bis 1000 Hz untersucht. Diese Messungen wurden bei einem niedrigen, konstanten Spannungswert durchgeführt. Als Kabelproben dienten mehrere 10-kV-Kabelproben. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Verlustfaktormessung wurden für jede Kabelprobe mehrere Messungen durchgeführt. Die untersuchten Kabelproben wurden u. a. auch mit Endverschlüssen präpariert. Dabei konnte auch deren Einfluss auf den Verlustfaktor  $\tan \delta$  untersucht werden.

### Abhängigkeit des Verlustfaktors von der Messspannung

Zur Überprüfung der Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan \delta$  an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln, wurde die Prüfspannung bis zu einem Spannungswert von  $2 U_0$  (bei den verwendeten Kabelproben 12 kV, da die Leiter-Erde-Nennspannung  $U_0$  eines 10 kV Kabels 6 kV beträgt) erhöht, sodass noch keine starken Teilentladungen im und am Prüfling auftreten. Andernfalls könnten starke Teilentladungen im Messaufbau zu einem deutlichen Anstieg der Verlustfaktorwerte führen. In Abbildung 3 ist der Verlustfaktor  $\tan \delta$  über der Spannung angegeben. Die Verlustfaktorwerte der betrachteten betriebsgealterten Kabelproben sind deutlich höher als jene von neuen Kabelproben, wobei eine Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors nicht erkennbar ist. Der Verlustfaktor  $\tan \delta$  bei Spannungssteigerung bleibt konstant. Diese Messergebnisse bestätigen dabei die Aussagen der Fachliteratur, dass der Verlustfaktor  $\tan \delta$  nicht von der Spannung, sondern vom Kabelzustand abhängig ist. Solange die Feldstärke nicht höher als 15 kV/mm

ist, entsprechend 3 kV/mm bei 10-kV-Kabeln, sollte der Verlustfaktor  $\tan \delta$  unabhängig von der Spannung sein.

Die geringfügige Abweichung bei zunehmender Spannung kann aufgrund der Genauigkeit des Messgerätes vernachlässigt werden. Der leichte Verlustfaktoranstieg ab etwa 8 kV ist dadurch zu begründen, dass es bei dieser Spannungsamplitude messaufbaubedingt zu leichten Teilentladungen kommt, die sich in leicht erhöhten Verlustfaktorwerten widerspiegeln. Anhand der gemessenen Werte bei nur einem Frequenzwert konnte lediglich ein Vergleich zu neuen Kabeln durchgeführt werden. Dies erfordert jedoch einen Referenzwert für jedes Kabel und gleiche Randbedingungen bei jeder Verlustfaktormessung.

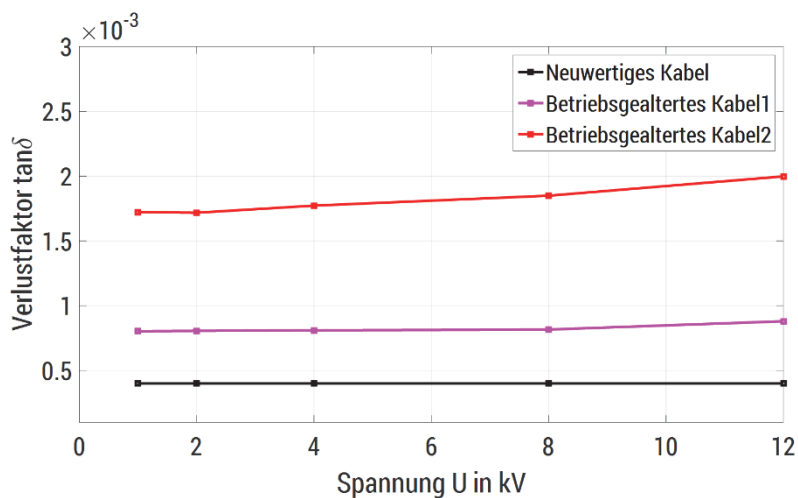


Abbildung 3: Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan \delta$

Mit dieser Messmethode sind Alterungsursachen und Störeinflüsse schwer zu erkennen. Da nachweislich keine Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan \delta$  festzustellen ist, wird es notwendig, andere Kriterien zu untersuchen, welche mehr Informationen aus der Messung generieren.

#### Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors

Eine Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan \delta$  an den untersuchten VPE-isolierten Mittelspannungskabeln unter Laborbedingungen konnte, in einem Frequenzbereich von 40 bis 250 Hz, nicht festgestellt werden. In Abbildung 4 ist der dielektrische Verlustfaktor  $\tan \delta$  über der Frequenz bei Raumtemperatur aufgetragen. Die Messungen erfolgten an neuwertigen und betriebsgealterten VPE-isolierten Mittelspannungskabeln.

Die Verlustfaktorkurve an neuwertigen VPE-isolierten Mittelspannungskabeln (schwarze Kurve) besitzt eine V-Form, in der das Minimum im Frequenzbereich zwischen 1 und 10 Hz liegt. Die V-Form ist ein typischer Verlustfaktorverlauf an allen untersuchten, neuwertigen VPE-isolierten Mittelspannungskabeln. Mit Alterung des Kabels verschiebt sich das resultierende Minimum. Dies ist ersichtlich in Abbildung 4, wobei die Verlustfaktorkurven an betriebsgealterten VPE-isolierten Mittelspannungskabeln eine Verschiebung des Minimums aufweisen. Es konnte sowohl eine Verschiebung des ursprünglichen Minimums nach links, als auch nach rechts, beobachtet werden. Eine Ausnahme zeigt die Verlustfaktorkurve vom betriebsgealterten Kabel mit Endverschluss. Hier ist eine W-Form zu erkennen.



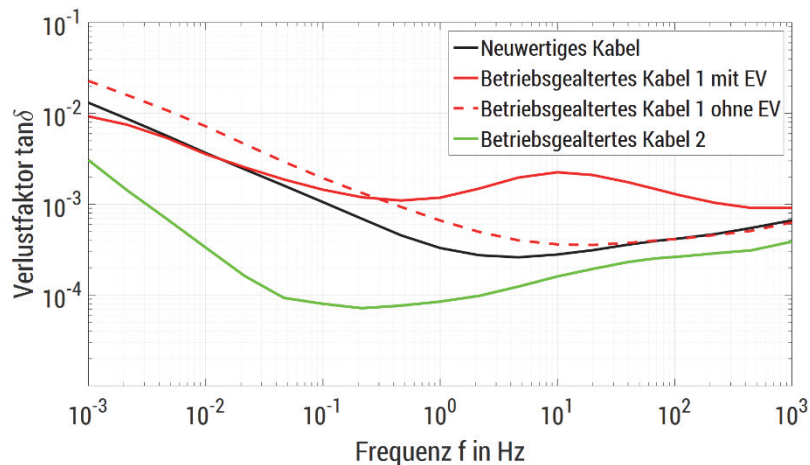


Abbildung 4: Frequenzabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan \delta$

Das dabei auftretende Maximum ergibt sich durch den Kabelendverschluss. Nach Entfernung des Kabelendverschlusses stellt sich die ursprüngliche V-Form der Verlustfaktorkurve wieder ein. Aufgrund der Alterung tritt auch hier eine Verschiebung des Minimums ein (rote gestrichelte Verlustfaktorkurve). Die reproduzierbare Kurve mit sehr niedrigen Verlustfaktormesswerten (Grün) repräsentiert betriebsgealterten VPE-isolierten Mittelspannungskabeln, welches im Jahr 1991 hergestellt wurde und seitdem im Betrieb ist. Diese Verlustfaktorkurve kann zu falschen Interpretationen führen, wenn der Verlustfaktor  $\tan \delta$  bei nur einem diskreten Frequenzwert gemessen wird. Der Verlustfaktorwert ist zwar niedrig, aber der frequenzabhängige Verlauf zeigt ein untypisches Verhalten. Dies ist auf eine betriebsbedingte Alterung zurückzuführen. Die gemessenen Verlustfaktorwerte mittels Frequenzbereichsspektroskopie bei 200 V und bei 50 Hz und höheren, betriebsnahen Spannungen stimmen sehr gut überein. Ergänzend ist in Abbildung 5 die Frequenz- und Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors an neuwertigen und betriebsgealterten VPE-isolierten Mittelspannungskabeln zu sehen.

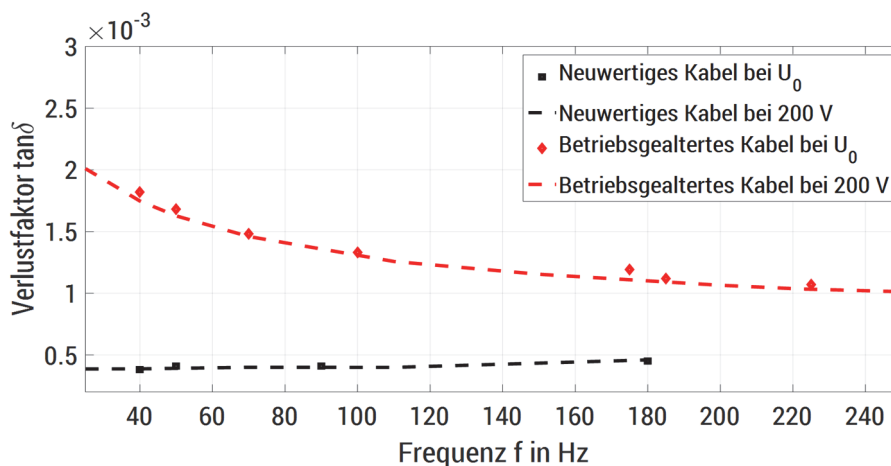


Abbildung 5: Frequenz- und Spannungsabhängigkeit des Verlustfaktors  $\tan \delta$  an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln

Die dargestellten Kurven wurden mittels Frequenzbereichsspektroskopie ermittelt und mit Messwerten bei Spannungen im Bereich von  $U_0$  verglichen. Die erforderlichen Frequenzen wurden mit einer Resonanzprüfanlage erzeugt. Aus diesen Messergebnissen geht deutlich hervor, dass für Frequenzen von 40 bis

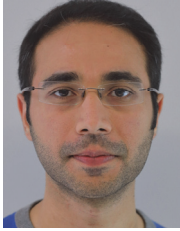
250 Hz der Verlustfaktor  $\tan \delta$  an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln keine Spannungsabhängigkeit aufweist.

### Zusammenfassung

- Die Messergebnisse belegen, dass die Messspannung bis  $2 U_0$  und im Frequenzbereich von 40 bis 200 Hz keinen Einfluss auf den Verlustfaktor  $\tan \delta$  an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln hat.
- Durch frequenzabhängige Verlustfaktormessungen können zudem Alterungsvorgänge besser analysiert werden, die in unterschiedlichen Frequenzbereichen unterschiedlich relevant sind.
- Bei Verlustfaktormessungen über einen großen bzw. breiten Frequenzbereich lässt sich im Vergleich zu heute üblichen Verlustfaktormessungen mit einem diskreten Frequenzwert (0,1 Hz, 50 Hz oder Resonanzfrequenz) generell eine höhere Informationsqualität gewinnen. Dies erlaubt eine höhere Aussagekraft bezüglich der Zustandsbewertung der VPE-isolierten Mittelspannungskabel.

Hadid, S.; Schufft, W.; Kühnert, M.: *Verlustfaktormessung an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln: Schwierigkeiten, Aussagen und Empfehlungen*. VDE VERLAG GMBH; Berlin Offenbach 2016, 2016. ISBN 978-3-8007-4310-0.

Kühnert, M.; Hadid, S.; Schufft, W.: *Untersuchungen zum Einfluss der Leitschichten auf die frequenzabhängige Verlustfaktormessung an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln*. VDE VERLAG GMBH; Berlin Offenbach 2016, 2016. ISBN 978-3-8007-4310-0



### Einsatz von $\pi$ -Gliedern zur frequenzabhängigen Kabelmodellierung

Ba. Sc. Abdullah Hoshmeh

Zur Simulation elektromagnetischer transienten Vorgänge in Kabeln ist ein Mindestmaß an Genauigkeit von Berechnungen notwendig. Diese transienten Vorgänge können u.a. durch Blitzeinschläge oder Schaltvorgänge verursacht werden. Um eine ausreichend hohe Genauigkeit zu erreichen, ist ein Modell mit einer Nachbildung des Verhaltens von Kabelparametern über einen definierten Frequenzbereich erforderlich.

Die Modellierung von Kabeln kann mit Hilfe von  $\pi$ -Gliedern erreicht werden. Abbildung 1 zeigt ein  $\pi$ -Glieder ohne Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit von Kabelparametern. In der Abbildung sind die Hauptelemente in Längsparameter ( $R$  und  $L$ ) und Querparametern ( $C$  und  $G$ ) eingeteilt.

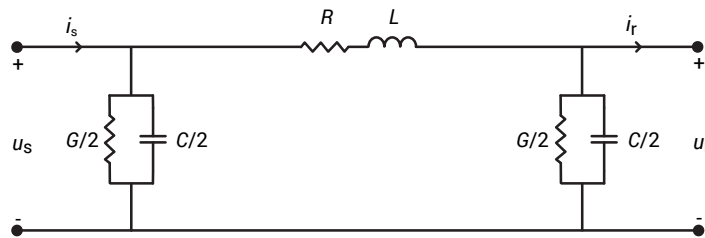


Abbildung 1: Ein  $\pi$ -Glieder ohne Frequenzabhängigkeit

Die Frequenzabhängigkeit der Querparameter kann vernachlässigt werden. Allerdings sind die Längsparameter stark frequenzabhängig [1]. Demzufolge muss die Frequenzabhängigkeit von Längsparametern in einem Kabelmodell berücksichtigt werden.

Die Frequenzabhängigkeit von Längsparametern wird im entwickelten dreiphasigen  $\pi$ -Glieder-Kabelmodell durch eine Schaltung elektrischer Elemente wie in der Abbildung 2 berücksichtigt.

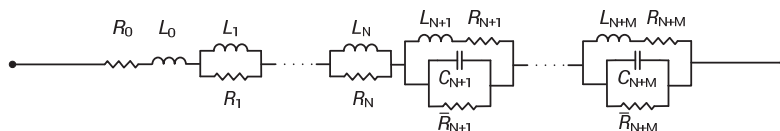


Abbildung 2: Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit im entwickelten  $\pi$ -Glieder-Kabelmodell

Für die Entwicklung des dreiphasigen  $\pi$ -Glieder-Kabelmodells wird die Modaltransformation benutzt [2]. Mit Hilfe dieser Transformation können die Kopplungen zwischen den Leitern im Kabelsystem vernachlässigt bzw. eliminiert werden. Dadurch können die Leiter unabhängig voneinander betrachtet werden. Diese Betrachtung wird die Modellierung vereinfachen. Um das Kabelmodell mit dem angeschlossenen Netz zu verbinden, müssen die berechneten Modalgrößen zu Leitergrößen zurück transformiert werden. Abbildung 3 zeigt eine schematische Darstellung des Prinzips der Modaltransformation.

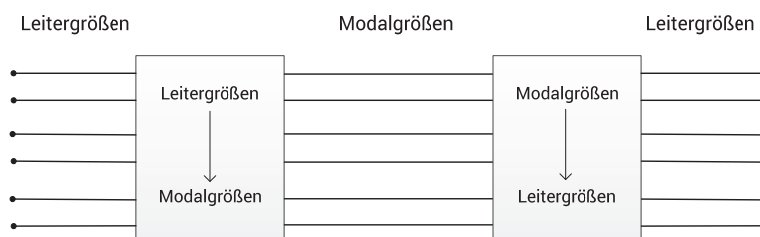


Abbildung 3: schematische Darstellung der Modaltransformation

Um das dreiphasige  $\pi$ -Glieder-Kabelmodell im Zeitbereich zu verifizieren, wurde eine Messung auf einer 10-kV-Kabelstrecke durchgeführt. Die Messanordnung wird in Abbildung 4 aufgezeigt. Hierbei wurde das Kabel einpolig auf 1-kV aufgeladen. Im Anschluss wurde der aufgeladene Leiter durch den Leistungsschalter (c) geerdet und der durchflossene Strom am Kabelanfang (s) gemessen.

Die Ergebnisse des dreiphasigen  $\pi$ -Glieder-Kabelmodells mit 70  $\pi$ -Gliedern werden mit dem gemessenen Strom (i) in Abbildung 5 verglichen. In der Simulation wurde der Zeitschritt ( $\Delta t = 10^{-7}$  s) verwendet.

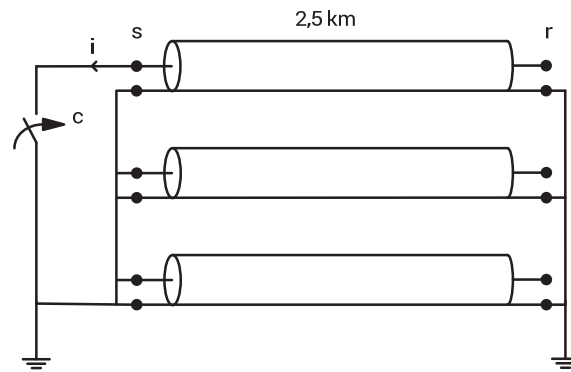


Abbildung 4: Anordnung der Kabelmessung

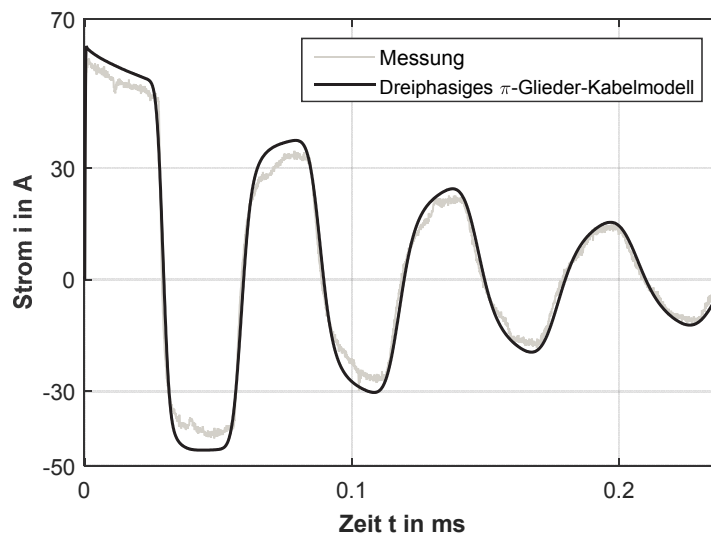


Abbildung 5: Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Strom

In dieser Simulation sind zwei Tatsachen gut nachgebildet:

- Laufzeit der Wanderwellen von einem Kabelende zum Anderen
- Dämpfung der Wanderwellen

Der vorherige Vergleich zeigt, dass das dreiphasige  $\pi$ -Glieder-Kabelmodell eine gute Übereinstimmung mit der Messung aufweist, welches ihre Gültigkeit beweist.

- [1] Hoshmeh. A, Malekian. K, Schufft. W, Schmidt. U, "A single-phase cable model based on lumped-parameters sient calculations in the time domain," *15th International Conference on Environment and Electrical Engineering 2015*), pp. 731-736, Rome, June 2015.
- [2] Hoshmeh. A, "A Three-Phase Cable Model Based on Lumped Parameters for Transient Calculations in the T main," *2016 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies – Asia Conference*, Melbourne, November 2016.



## **Untersuchung des dynamischen Verhaltens von Verteilnetzen mit komplexer Erzeuger- und Verbraucherstruktur**

M. Sc. Liana Pop

Die Energiewende verändert durch die vorwiegende Einspeisung erneuerbarer Energien das Verfügbarkeitsprofil der Elektroenergie grundlegend. Zum Ausgleich von regionalen Energieangebots- und Energienachfrageunterschieden wird derzeit der Stromnetzausbau forciert, so dass Engpässe und Übertragungsverluste reduziert werden. Eine ressourcenschonende und wirtschaftlich sinnvolle Alternative zum massiven Stromnetzausbau bei gleichzeitiger Minimierung der fossilen Energieerzeugung und der Netzverluste ist die Flexibilisierung der Erzeuger sowie der Verbraucher. Hierbei bietet sich das gezielte, dynamische Zu- und Abschalten einzelner Komponenten bei komplexen Erzeuger- bzw. bei Verbrauchereinheiten an [1].

Die Flexibilisierung der Verbrauchereinheiten kann beispielsweise durch den Einsatz von Datenzentren realisiert werden. Durch den schnellen und verlustarmen Datentransfer zwischen einzelnen räumlich verteilten Datenzentren kann somit eine Lastumverteilung zwischen leistungsarmen sowie leistungsstarken Regionen erfolgen.

Hieraus ergeben sich neue Herausforderungen für das Stromnetz. Zu diesen Herausforderungen zählen zum einen die Bilanzierung der Erzeugung und des Verbrauchs nach gezielten dynamischen Zu- sowie Abschaltvorgängen. Des Weiteren sollte die Einhaltung von technisch vorgegebenen Grenzwerten, wie beispielsweise die Spannungsbänder an den Knotenpunkten und die Belastungsgrenzen der eingesetzten Betriebsmittel im Stromnetz, berücksichtigt werden. Die zuvor genannten Voraussetzungen sollen bei gleichzeitiger Reduzierung der Netzverluste und dem Verzicht auf einen massiven Stromnetzausbau erfolgen.

Für eine möglichst exakte Beschreibung der Auswirkungen von gezielten Zu- sowie Abschaltvorgängen wird ein Netzausschnitt im stationären sowie im dynamischen Zeitbereich untersucht. Hierbei wurde ein realitätsnaher, exemplarischer Netzausschnitt mit Hilfe der Berechnungssoftware PowerFactory und des Tools MATPOWER nachgebildet. Der modellierte Netzausschnitt besteht aus vier Ringnetzen, welche unterschiedliche Konstellationen von komplexen Verbraucher- sowie fossilen und erneuerbaren Erzeugungseinheiten umfassen. Daran werden unterschiedliche Szenarien der Flexibilisierung von Erzeugungs- und Verbrauchereinheiten untersucht. Eine Grafik zum nachgebildeten Netzausschnitt ist aus der Abbildung 1 ersichtlich.

Zum Zwecke der Untersuchung des Netzes im stationären Zustand lassen sich Leistungsflussberechnungen durchführen. Dadurch kann die Einhaltung der zuvor genannten technischen Grenzwerte beurteilt sowie bestimmte Grenzwertverletzungen angezeigt werden. Zur dynamischen Betrachtung der gezielten Zu- und Abschaltvorgänge bedarf es der Entwicklung eines dynamischen Modells des Netzausschnittes. Abhängig von den vorgenommenen Zu- sowie Abschaltvorgängen von Verbrauchereinheiten soll mit Hilfe von Regelalgorithmen die Betriebsführung von lokalen Erzeugungseinheiten angepasst werden.

Ziel der Arbeit ist somit die Erarbeitung von Methoden und Konzepten zur Untersuchung des Optimierungspotenzials der Betriebsführung von Stromnetzen durch den Einsatz flexibler Verbraucher und dessen Auswirkungen im stationären sowie dynamischen Zeitbereich.

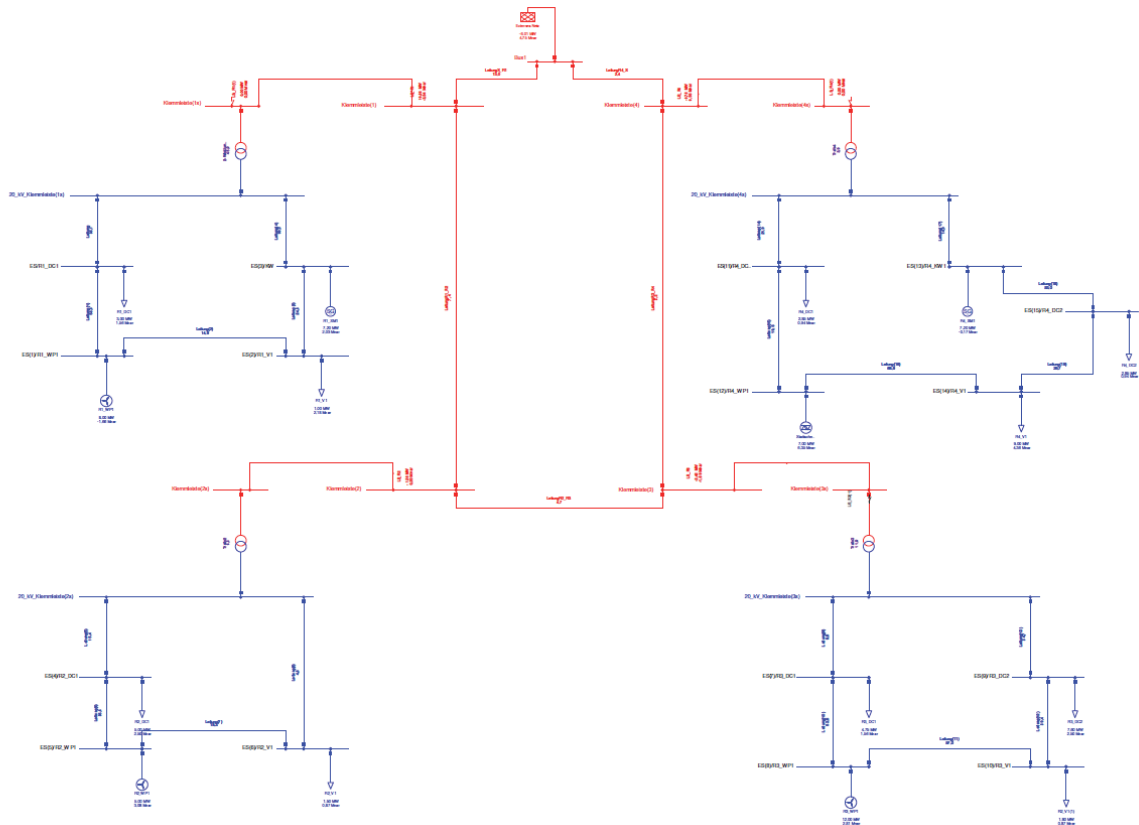


Abbildung1: Netzgrafik (realisiert mit Hilfe der Berechnungssoftware PowerFactory 2016, DigSilent)

[1] Vorhabensbeschreibung zum ESF-finanzierten Projekt SyNErgt





## Ansätze zur Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle am Netzanschlusspunkt

M. Sc. Farhad Safargholi

Oberschwingungen sind heutzutage als eines der wichtigsten Merkmale der Elektroenergiequalität. Das Hauptziel der meisten Normen ist es sicherzustellen, dass die im Elektroenergiesystem auftretenden Oberschwingungen die Störfestigkeit der Betriebsmittel nicht häufig überschreiten. Hierzu werden Oberschwingungsplanungspegel in Koordination mit der Störfestigkeit der Betriebsmittel definiert. Zur Realisierung dieser Koordination dient der sogenannte Verträglichkeitspegel, welcher lediglich mit einer geringen Wahrscheinlichkeit (circa 5%) überschritten werden darf. Die Planungspegel dürfen nicht größer als der Verträglichkeitspegel gewählt werden.

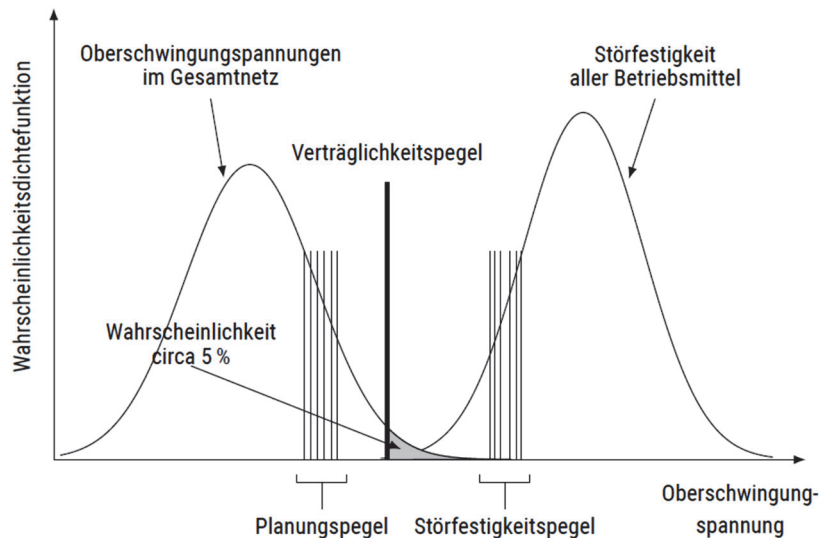
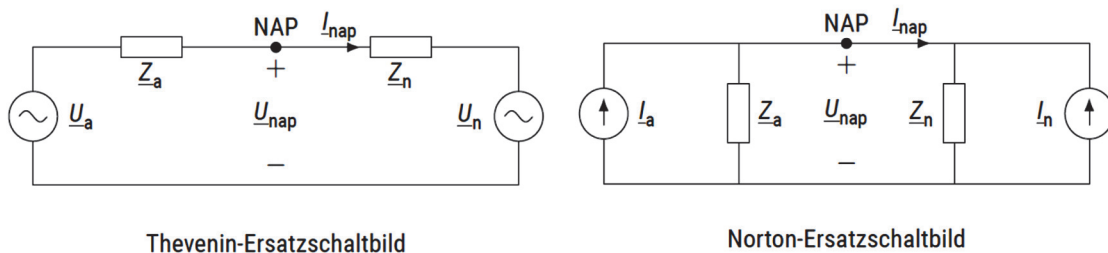


Abbildung 1: Koordination der Planungspegel mit den Störfestigkeitspegeln (nach IEC 61000-3-6)

Das Oberschwingungsverhalten der Anschlussnehmer- und Netzseite soll am Netzanschlusspunkt (NAP) beurteilt werden, um die vordefinierten Planungspegel gemäß Normen einzuhalten. In den meisten Beurteilungskonzepten werden die Anschlussnehmer- und die Netzseite jeweils durch ein Thevenin-Ersatzschaltbild oder ein Norton-Ersatzschaltbild nachgebildet.



Thevenin-Ersatzschaltbild

Norton-Ersatzschaltbild

Abbildung 2: Ersatzschaltbild der Anschlussnehmer- und Netzseite

Die meisten Beurteilungskonzepte setzen sich unter Anwendung unterschiedlicher Kriterien Folgendes zum Ziel:

- Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle,
- Ermittlung der Oberschwingungsanteile am NAP.

Diese Konzepte auf Ebene der wissenschaftlichen Arbeiten können in folgende drei Kategorien aufgeteilt werden:

- Flussrichtung der Wirkleistung,
- Blindleistung (Kritische Impedanz),
- Spannung-Strom-Verhältnis.

In Tabelle 1 werden u. a. die verwendbaren Kriterien in jedem Konzept aufgelistet. In [1] wurde auf die Unterscheidung zwischen den Kriterien für das erste Konzept (Flussrichtung der Wirkleistung) eingegangen. Es ist analytisch nachweisbar, dass die Gültigkeit dieses Ansatzes für beide Kriterien nicht immer gegeben ist. Das zweite Konzept (Blindleistung) wurde für beide Kriterien in [2] entwickelt. Das dritte Konzept (Spannung-Strom-Verhältnis) kann für alle Kriterien entwickelt werden.

*Tabelle 1: Zusammenfassung der Konzepte zur Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle*

Konzept	Eingangsgrößen	Aussagen	Kriterien
Flussrichtung der Wirkleistung [1]	Spannung am NAP, Strom am NAP	Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle	Ersatzspannungsbetrag Ersatzstrombetrag
Blindleistung (Kritische Impedanz) [2]	Spannung am NAP, Strom am NAP, Ersatzimpedanzen	Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle	Ersatzspannungsbetrag Ersatzstrombetrag
Spannung-Strom-Verhältnis [3]	Spannung am NAP, Strom am NAP, Ersatzimpedanzen	Identifizierung der dominanten Oberschwingungsquelle Ermittlung der Oberschwingungsanteile am NAP	Ersatzspannungsbetrag Ersatzstrombetrag Spannungsänderung am NAP

[1] P. H. Swart, M. J. Case, and J. D. Van Wyk, "On techniques for localization of sources producing distortion in electric power networks," *European Transactions on Electrical Power*, vol. 4, no. 6, pp. 485–489, 1994.

[2] C. Li, W. Xu, and T. Tayjasananant, "A "critical impedance"-based method for identifying harmonic sources," *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 2, pp. 671–678, 2004.

[3] K. Malekian, "A novel approach to analyze the harmonic behavior of customers at the point of common coupling," *Compatibility and Power Electronics (CPE), 9th International Conference on*, pp. 31–36, June 2015.



## 5 Abgeschlossene wissenschaftliche Arbeiten

Auch im Jahr 2016 konnten an unserer Professur viele Studierende bei deren Studienabschluss 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 großen Erfolg!

### 5.1 Bachelorarbeiten

Clausner, Sven	Aufzeichnung der Verhaltensfunktion der Durchschlagspannung und Nachweis der Reproduzierbarkeit der Vorentladungsstrommessungen bei einer Spitze-Spitze-Elektroanordnung
Spindler, Philipp	Simulationsbasierte Anschlussbewertung von Photovoltaikanlagen auf Spannungsebene am exemplarischen Netzmodell
Rochus Bach, Moritz	Entwicklung eines Modells zur Minimierung der Stromgestehungskosten bei Photovoltaik-Freiflächenanlagen mit Fokus auf die Optimierung des Verhältnisses von Generatornennleistung zu Wechselrichternennleistung

## 5.2 Masterarbeiten

Wiese, Jens	Untersuchung von Flexibilitätspotentialen aus dezentralen Energie- und Netzanlagen und deren Einsatz zu Erbringung von Systemdienstleistungen im Rahmen der Betriebsführung des Netzbetreibers am Beispiel der DREWAG NETZ GmbH / ENSO NETZ GmbH
Martin, Thomas	Potenzialanalyse von Photovoltaik-Wärmepumpen-Batteriespeichersystemen für Privathaushalte
Klitzsch, Alexander	Technische Betrachtung der Spannungserhöhung auf 750 V Fahrdrathnennspannung im Chemnitzer Straßenbahnnetz für die Bereiche Infrastruktur und Fahrzeuge
Pop, Liana	Untersuchung der frequenzabhängigen Impedanz- und Admittanzbeläge von 110-kV-Freileitungen mit Hilfe der symmetrischen Komponentensysteme
Zöphel, Peter	Erstellung eines Prognosemodells für übertragene Mengen (Arbeit) und dessen Extremwert (Leistung) elektrischer Energie bei Stromnetzbetreibern
Peichl, Johannes	Batteriemodelle für die Anwendung in einem Photovoltaik-Batteriespeicher-System
Frenzel, Thomas	Potentialanalyse und -bewertung von P2H für Kälteanlagen der gewerblichen Kühlung
Hänel, Michael	Integration von erneuerbaren Energien in den Europäischen Elektrizitätsbinnenmarkt - Auf dem Weg zum Super-Smart-Grid“?
Kühnert, Marcus	Untersuchungen zur Aussagekraft der frequenzabhängigen Verlustfaktormessung an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln
Schibajew, Alexander	Klassifizierung von elektrischen Geräten hinsichtlich des Oberschwingungsverhaltens
Lorenz, Vivien	Zielgruppengerichtete Produktgestaltung für enviaM Gewerbekunden unter Einsatz der Smart Meter Technologie

## 6 Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge

Die im Jahr 2016 getätigten Veröffentlichungen und Konferenzbeiträge sind nachfolgend sowie auf unserer Homepage aufgeführt.

**Götz, A.:** Zukünftige Belastungen von Niederspannungsnetzen unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Dissertation, Universitätsverlag Chemnitz, 2016. ISBN 978-3-944640-79-2

**Bocklisch, T.; Paulitschke, M.; Böttiger, M.:** Simulationsgestützte und experimentelle Untersuchung von Betriebsführungsverfahren für PV-Speichersysteme. 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2016.

**Paulitschke, M.; Bocklisch, T.; Böttiger, M.:** Auslegungsalgorithmus für ein autarkes PV-Batterie-Wasserstoff-Hybridsystem mit Partikel-Schwarm-Optimierer. 31. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2016.

**Paulitschke, M.; Bocklisch, T.; Böttiger, M.:** Investigation and comparison of an enhanced particle swarm algorithm for the optimal design of stand-alone PV-hybrid systems. 10. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2016, Eurosolar, Düsseldorf, 2016.

**Bocklisch, T.; Paulitschke, M.; Böttiger, M.:** Investigation of energy management concepts for a hybrid battery storage and power-to-heat device for renewable energy applications. 10. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2016, Eurosolar, Düsseldorf, 2016.

**Bocklisch, T.; Lindner, J.:** Technical and economic investigation and comparison of photovoltaic – wind energy – hybrid systems with battery and heat-storage path. 10. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2016, Eurosolar, Düsseldorf, 2016.

**Böttiger, M.; Paulitschke, M.; Bocklisch, T.:** Experimental investigation and parameter identification method for an equivalent circuit based lithium-ion battery model. 10. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2016, Eurosolar, Düsseldorf, 2016.

**Böttiger, M.; Paulitschke, M.; Bocklisch, T.:** Innovative reactive energy management for a photovoltaic battery system. 10. Internationale Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien IRES 2016, Eurosolar, Düsseldorf, 2016.

**Malekian, K.:** Modellierung des Oberschwingungsverhaltens von Windparks mit probabilistischen Ansätzen. Dissertation, Universitätsverlag Chemnitz, 2016. ISBN 978-3-944640-90-7

**Teuscher, J.; Schufft, W.:** The classification of low-voltage grids with the scenario methodology. Renewable Energy & Power Quality Journal (RE&PQJ), No.12, 2016. ISSN 2172 - 038 X

**Born, B.; Schufft, W.; Teuscher, J.:** Utilising a cluster-based power optimisation in micro grids. Renewable Energy & Power Quality Journal (RE&PQJ), No.14, 2016. ISSN 2172 - 038 X

**Götz, A.:** Innovative and effective integration of electric vehicles into the low-voltage grid. International Conference on Modern Electrical Power Engineering (ICMEPE'16); Las Palmas de Gran Canaria (Spain), 6 th to 8 th July, 2016 ; Electrical Engineering Electronic Journal (EEEJ) , 2016. ISSN 2172-1246

**Götze, Uwe; Lindner, Romy; Teuscher, J.; Schufft, W.:** Zur Bewertung von Kosten und Nutzen von Ausbauprojekten im Übertragungsnetz. Tagungsbandbeitrag Wissenschaftsdialog der Bundesnetzagentur, Bonn, 2016.

**Teuscher, J.; Born, B.; Schufft, W.; Günther, M.; Jähn, B.; Müller, S.; Scherer, S.; Temmler, A.; Götze, U.; Henkel, U.; Krems, J.; Wanielik, G.:** Connected Electromobility – Between CO<sub>2</sub> optimized energy management, user-centered design and cost effectiveness. COFAT München 2016, 2016.

**Frenzel, Th.; Götz, A.:** Eigenversorgung von Lebensmittelmärkten. ew - Magazin für die Energiewirtschaft, 2016. ISSN 1619-5795-D 9785 D

**Meyer, J.; Domagk, M.; Kirchner, L.; Hoven, M.; Athamna, I.; Muehlberg, M.; Scheben, F.; Ackermann, F.; Klosse, R.; Kuech, K.; Malekian, K.; F. Safargholi:** Survey on international practice of calculating harmonic current emission limits. 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2016. 2164-0610

**Gürlek, A.; Malekian, K.; Schufft, W.:** Stochastic Character Modelling of Breakdown under Lightning Impulse Voltage. Toronto / Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP), 2016. ISBN 978-1-5090-4654-6

**Teuscher, J.; Günther, M.:** Nachhaltig auf Dienstwegen pendeln - Das Projekt ECoMobility. oekom Verlag, 2016. ISBN 978-3-86581-831-7

**Götz, A.:** Wo beginnt Nachhaltigkeit?. oekom Verlag, München, S.81f., 2016. ISBN 978-3-86581-831-7

**Kühnert, M.; Hadid, S.; Schufft, W.:** Untersuchungen zum Einfluss der Leitschichten auf die frequenzabhängige Verlustfaktormessung an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln. VDE VERLAG GMBH; Berlin Offenbach 2016, 2016. ISBN 978-3-8007-4310-0

**Athamna, I.; Mühlberg, M.; Santjer, F.; Meyer, M.; Vennegeerts, H.; Meyer, J.; Domagk, M.; Ackermann, F.; Reichert, S.; Klosse, R.; Kuech, K.; Malekian, K.; F. Safargholi:** New Evaluation Methods for Harmonic Emission of Renewable Generation. 15th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Power Plants, 2016. ISBN: 978-3-9816549-4-3

**Hadid, S.; Schufft, W.; Kühnert, M.:** Verlustfaktormessung an VPE-isolierten Mittelspannungskabeln: Schwierigkeiten, Aussagen und Empfehlungen. VDE VERLAG GMBH; Berlin Offenbach 2016, 2016. ISBN 978-3-8007-4310-0

**Hoshmeh, A.:** A three-phase cable model based on lumped parameters for transient calculations in the time domain. , 2016, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies – Asia Conference*, Melbourne, November 2016. 978-1-5090-4303-3

## 7 Externe Aktivitäten und Kontakte

### 7.1 Teilnahmen an Konferenzen, Tagungen, Kolloquien

Datum	Person	Veranstaltung	Ort
12.01.2016	Gürlek	IEEH-Institutskolloquium	Dresden
05.02.2016	Teuscher	Workshop Wissenstransfer TU Chemnitz VOITH Engineering	Chemnitz
09.-11.03.2016	Bocklisch, Paulitschke	29. Symposium Photovoltaische Solarenergie	Bad Staffelstein
15.-18.03.2016	Bocklisch, Paulitschke, Böttiger, Lindner	10. Internationale Konferenz zur Speicherung von Energie aus erneuerbaren Quellen, IRES2016	Düsseldorf
07.04.2016	Schufft, Safargholi, Malekian	Join DFG-IRASA Workshop	Berlin
04.-06.05.2016	Born, Teuscher	International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'16)	Madrid
02.06.2016	Teuscher, Götz	Tag der Nachhaltigkeit TU Chemnitz	Chemnitz
30.06.2016	Teuscher	VEReMO-Abschlussworkshop Vernetzte Elektromobilität	Hohenstein-Ernstthal
06.-08.07.2016	Götz	International Conference on Modern Electrical Power Engineering (ICMEPE'16)	Las Palmas
24.-25.09.2016	Schufft, Malekian	Iranian-German Joint Research Workshop	Teheran
27.09.2016	Schufft, Malekian	Symposium on High Voltage, HVDC & Renewable Energy	Teheran
16.-19.10.2016	Gürlek	Conference on Electrical Insulation & Dielectric Phenomena (CEIDP 2016, IEEE)	Toronto
28.10.2016	Götz, Teuscher, Born	4. Sächsische Nachhaltigkeitskonferenz	Chemnitz
14.-16.11.2016	Hadid, Kühnert, Gürlek	VDE-Fachtagung Hochspannungstechnik 2016	Berlin
08.12.2016	Götz, Teuscher	SAENA Auszeichnungsveranstaltung zu "Sächsisches Kommunales Energiemanagement"	Dresden
28.11-01.12.2016	Hoshmeh	IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies – Asia Conference	Melbourne

## 7.2 Gäste an der Professur

<b>Datum</b>	<b>Namen</b>	<b>Firma/ Institution</b>
15.01.2016	Herr Dr. Braun, Herr Dr. Genz, ....	SAXEED, TUCed
28.01.2016	Frau Dr. Panzer, Herren Steuer, Mulkau	VEM motors GmbH, Wernigerode
09.02.2016	Herr Tottewitz	Stadtwerke Annaberg-Buchholz Energie AG
09.02.2016	Frau Herbst	DREWAG NETZ GmbH, Dresden
15.02.2016	Herr Liebe	Neue Pallas Immobilien GmbH, Rastede
09.03.2016	Herr Prof. Al-Masri	Qassim University, Buaidah, Saudi Arabia
12.04.2016	Herr S. Laurus	FGW e.V.
12.04.2016	Herr Dr. I. Athamna	FGW e.V.
12.04.2016	Herr Meyer	Helmut-Schmidt-Universität
12.04.2016	Herr Dr. Arnold, Herr Schäfer	Fraunhofer IWES
12.04.2016	Herr Derlig	ENERCON GmbH
12.04.2016	Herr Dr. Meyer, Herr Dr. Domagk	TU Dresden
12.04.2016	Herr Dr. Vennegeerts, Herr Hoven	FGH GmbH
13.04.2016	Herren Dr. Frenzel, Fricke	DNV-GL, Dresden
22.04.2016	Herr Dr. Arnold	Fraunhofer IWES
22.04.2016	Herr Prof. Schegner	TU Dresden
22.04.2016	Herr Dr. Malsch	P&M Power Consulting GmbH
18.05.2016	Herr Rohleder	Energy Saxony, Dresden
27.07.2016	Herr Praprotnig	MAHLE Filtersysteme Austria GmbH, Wolfsberg, Österreich
27.07.2016	Herr Wiesenhütter	Sachverständigenbüro Wiesenhütter, Diera
18.08.2016	Herr Dr. Thiele	BAM, Berlin
06.09.2016	Herren Kiebler, Kuschel	Siemens AG, Chemnitz
13.10.2016	Herr Prof. Plath	TU Berlin
30.10.2016	Herr Hähle	Hörburger Control Systems, Chemnitz
04.11.2016	Herr Prof. Haim	Hochschule Zittau/Görlitz
15.12.2016	Herr Prof. Plath	TU Berlin
15.12.2016	Herr Dr. Paulus	BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH
20.12.2016	Herr Praprotnig	MAHLE Filtersysteme Austria GmbH, Wolfsberg, Österreich
20.12.2016	Herren Mayer, Walker	MAHLE Filtersysteme GmbH, Stuttgart
20.12.2016	Herr Wiesenhütter	Sachverständigenbüro Wiesenhütter, Diera

## 8 Höhepunkte

### 8.1 Erneuerung des Wechselspannungs-Prüfsystems

Im Jahr 2015 erhielt unser Wechselspannungs-Prüfsystem ein umfangreiches Upgrade. Eine komplette Neustrukturierung der zwei bisher vorhandenen Hochspannungs-Versuchsfelder in der Laborhalle war deshalb notwendig geworden. Die schon vorhandene Stoßspannungs-Prüfanlage und die neue Wechselspannungs-Prüfanlage wurden auf der zur Verfügung stehenden Fläche neu aufgebaut. Im Rahmen der Erweiterung und Aktualisierung des Wechselspannungs-Prüfsystems WP100/200 (100 kVA, 200 kV) wurde die Technik auf den neuesten technischen Stand gebracht. Die Anlage verfügt nun über das neue rechnergestützte Steuer- und Messsystem HiCOS. Komplett erneuert wurde u.a. auch die Einspeisung mit entsprechenden Netzfiltern, Steuerung, Stelltransformator, Durchschlagserfassung, Scheitelwertmessgerät und Sekundärstrommesssystem. Zusätzlich wurde die Anlage mit einem neuen Spannungsteiler WCF 2,5/200, einer Thyristor-Schnellabschaltung, einem Siebkreis und einer Sperrimpedanz ausgestattet. Die neue Ausstattung beinhaltet nun auch das neue Teilentladungsmess- und Auswertesystem PiDAS MPD 600 und das Tandelta Messsystem MI 600. Das Prüfendverschlussystem CET150/70B mit Wasseraufbereitung steht speziell für Prüfungen an Kabelproben bis zu einer Spannung von 150 kV zur Verfügung. Nach dem Upgrade des Wechselspannungs-Prüfsystems sind nun noch vielseitigere Prüfungen an Kabelproben und weiteren Betriebsmitteln möglich geworden.

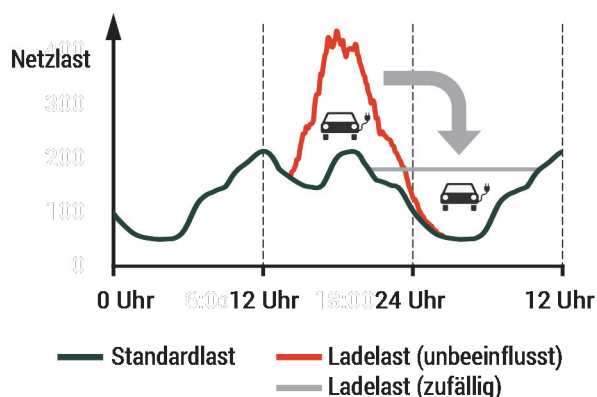


## 8.2 Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Andreas Götz am 02. Februar 2016

*„Zukünftige Belastungen von Niederspannungsnetzen  
unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität“*

Gutachter: Prof. W. Schufft, TU Chemnitz  
Prof. M. Hübner, HTW Dresden  
Beisitzer: Dr. N. Menke, LVV mbH  
Dr. F. Holzapfel, inetz GmbH

In seiner Dissertation beschäftigte sich Herr Dr. Götz mit den zukünftigen Belastungen auf Niederspannungsnetze hinsichtlich zukünftiger Verbraucher- und Einspeiserstrukturen. Unter Berücksichtigung sozialogischer, rechtlicher und technischer Rahmenbedingungen konnte die Elektromobilität als nennenswerter Einfluss identifiziert werden. Aufbauend auf diese Erkenntnis wurden unterschiedliche Ladevarianten für Elektrofahrzeuge am privaten Ladestandort untersucht und deren Einflüsse auf das Niederspannungsnetz analysiert. Dabei wurde eine neue und innovative Ladevariante erfunden und patentiert – die zufällige Ladung mittels der Schaltverzögerten Steckdose. So konnte gezeigt werden, dass durch zufällige und normalverteilte Ladevorgänge jedes Elektrofahrzeugs über Nacht eine Erhöhung der abendlichen Hochlast vermieden und eine Anhebung der nächtlichen Niedriglast erreicht werden kann. Hierzu wurden unterschiedliche Standardlastprofile beachtet und für die Simulationen die „unabhängige Standardlast“ definiert. Mit Hilfe der zufälligen Ladung können so Netzausbau vermieden und Kosten für den Ladeanschluss um näherungsweise 90 % reduziert werden. Unter der Berücksichtigung einer vollständigen Substitution aller Pkw durch Elektrofahrzeuge in einem typischen Niederspannungsnetz, sind mit der zufälligen Ladung sogar nahezu alle Elektrofahrzeuge ladbar, ohne dass die Notwendigkeit eines Netzausbaus eintritt. Aufgrund der Funktionsweise der Schaltverzögerten Steckdosen ist kein zentrales Lademanagementsystem notwendig, wodurch eine hohe Ressourceneffizienz erreicht wird.



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



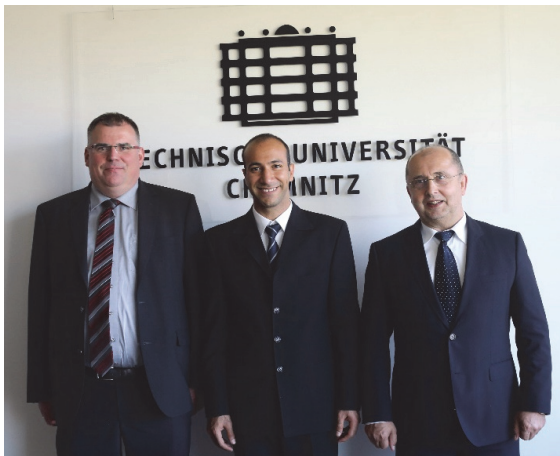
### 8.3 Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Kaveh Malekian-Boroujeni am 22. April 2016

*„Modellierung des Oberschwingungsverhaltens von Windparks mit probabilistischen Ansätzen“*

Gutachter: Prof. W. Schufft, TU Chemnitz  
Prof. P. Schegner, TU Dresden  
Beisitzer: Dr. G. Arnold, Fraunhofer IWES  
Dr. M. Malsch (P&M Power Consulting GmbH)

In seiner Dissertation beschäftigte sich Herr Dr. Malekian mit dem Oberschwingungsverhalten von Windparks. Die von ihm gemachten Ausführungen liefern einen wichtigen Beitrag bzw. Ansatz zur Weiterentwicklung auf diesem Teilgebiet.

Oberschwingungen als ein Merkmal der Elektroenergiequalität gewinnen durch die starke Netzintegration leistungselektronisch geregelter Anlagen wie Windenergieanlagen und nichtlineare Lasten zunehmend an Bedeutung. Bestehende Normen entsprechen nicht den zukünftigen Erfordernissen des Elektroenergiesystems und bedürfen diesbezüglich einer Überarbeitung. In der Dissertation von Herrn Dr. Malekian wurden wesentliche Einflussfaktoren auf das Oberschwingungsverhalten von Windparks identifiziert, beschrieben und modelliert. Dabei wurde der stochastische Charakter der Oberschwingungen mithilfe von probabilistischen Ansätzen erfasst. Des Weiteren wurde ein neuer Ansatz zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen dem Windpark und dem vorgelagerten Netz entwickelt. Der Ansatz ermöglicht, die vom Windpark verursachte Änderung der Oberschwingungsspannung am Netzanschlusspunkt zu ermitteln. Diese Dissertation liefert einen Beitrag zur Verbesserung bestehender Normen für die Anbindung von Windparks.



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

## 8.4 Bewilligung des Forschungsprojektes „SyNERgIt“ ab Juli 2016

Das Forschungsprojekt „SyNERgIt“, welches im Juli 2016 an der TU Chemnitz begann, ist im MINT-Bereich angesiedelt und verfolgt das Ziel, regionale Energieangebots- sowie Nachfrageunterschiede durch die zeitliche und räumliche Beeinflussung des Energieverbrauchs von Datenzentren auszugleichen. Hauptmotivation ist die Unterstützung der Entwicklung geeigneter Rahmenbedingungen sowie technischer und ökonomischer Mechanismen, welche eine verlässliche Energieversorgung bei gleichzeitiger Minimierung fossiler Energieerzeugung sicherstellen. Andererseits soll perspektivisch durch die ressourceneffiziente Nutzung der vorhandenen Infrastruktur der Stromnetzausbau reduziert und die lokale Ansiedlung leistungsfähiger Informations- und Kommunikations-Infrastruktur begünstigt werden. Zur Erreichung dieser Ziele ist es notwendig, dass das in Abbildung 1 dargestellte komplexe Gesamtsystem und die sich daraus ergebenden Interaktionen sowie dessen Teilsysteme oder Akteure zu analysieren und gezielt zu beeinflussen.

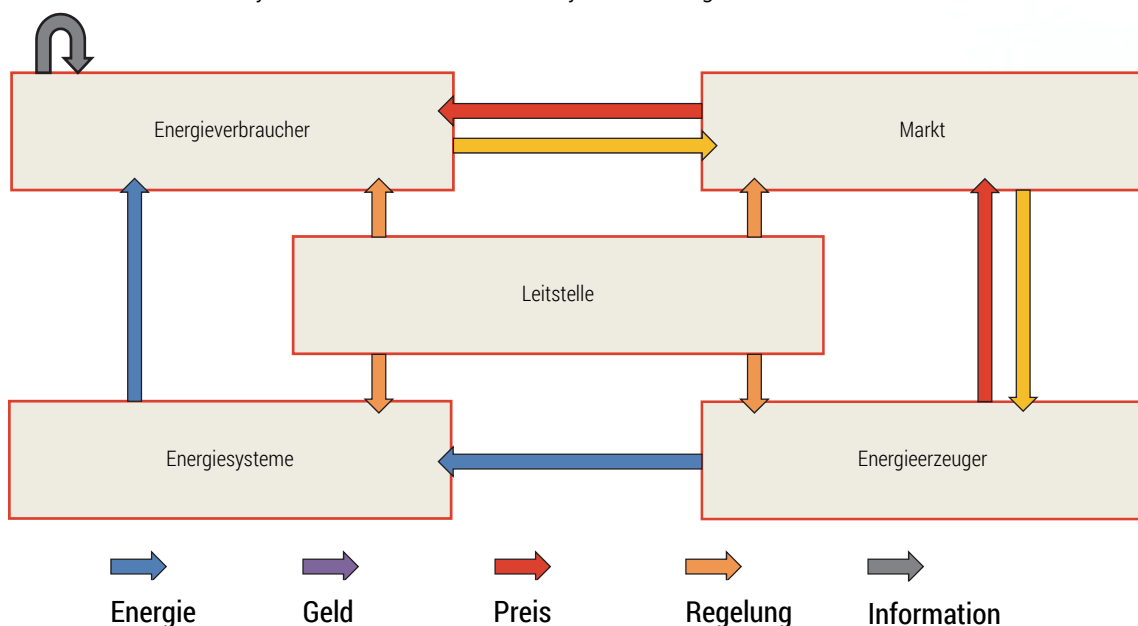


Abbildung 1: Gesamtsystem zur Beschreibung der Interaktion einzelner Akteure

In der interdisziplinären Nachwuchsforschergruppe „SyNERgIt“ werden verschiedene Kompetenzen synergetisch kombiniert, um das obige Vorhaben zu erreichen. Beteiligt sind die Professuren Algorithmische und Diskrete Mathematik (ADM), Energie- und Hochspannungstechnik (EHT), Kommunikationsnetze (KN), Regelungstechnik und Systemdynamik (ACSD) sowie Wirtschaftsinformatik II: Systementwicklung und Anwendungssysteme (SEAS), der Fakultäten für Mathematik, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie Wirtschaftswissenschaften. Das Forschungsprojekt ist auf drei Jahre angelegt und wird vom Europäischen Sozialfonds (ESF) durch die Europäische Union und den Freistaat Sachsen (Projekträger SAB – Sächsische Aufbaubank) mit circa 1,2 Mio. € gefördert. An unserer Professur wird das Projekt von Frau Liana Pop bearbeitet.



## 8.5 Fachexkursion der Professur am 16.06.2016

Das Ziel der diesjährigen Exkursion war das Pumpspeicherwerk Goldisthal und die Neubaustrecke (ICE) der Deutschen Bahn zwischen Ebensfeld und Erfurt.

Die Hin- und Rückfahrt erfolgte mit zwei Kleintransportern der Firma Enterprise, die Herr Dr. Götz organisiert hatte.

Wir trafen uns 06:30 Uhr im Uni-Gelände und pünktlich 07:00 Uhr brachen wir in Richtung Thüringen auf. Unsere beiden Senioren, Pro-

fessor Amft und Herr Breitfeld, waren auch wieder mit von der Partie. Wobei Professor Schufft und Professor Amft zusammen mit dem Pkw aus Dresden direkt nach Goldisthal zum Pumpspeicherwerk fahren!

Kurz nachdem wir in Goldisthal angekommen waren, begann auch schon die Führung. Nach einer kurzen Einweisung bestiegen wir den „hauseigenen“ Bus und fuhren eine recht kurvenreiche Strecke bis zum Oberbecken.

Das künstlich angelegte, umgehare Oberbecken befindet sich auf einer Höhe von etwa 880 m ü. NHN auf der Moosbergebene am Großen Farmdenkopf und hat ein Nutzvolumen von zirka 12 Millionen m<sup>3</sup> Wasser bei einer Fläche von 0,55 km<sup>2</sup>. Der Berggipfel wurde abgetragen, um dieses Becken zu schaffen.

Das Pumpspeicherkraftwerk (PSW) Goldisthal im Thüringer Schiefergebirge am Oberlauf der Schwarza zwischen Goldisthal und Scheibe-Alsbach wurde im Jahr 2003 in Betrieb genommen und ist mit einer Leistung von 1060 MW das größte Wasserkraftwerk Deutschlands und eines der größten Europas.



Nach einer sehr ausführlichen und detaillierten Beschreibung über Planung (1965), Baubeginn (1997), Problemen bei der Ausführung bis hin zur Fertigstellung 2003, begaben wir uns wieder in den Bus und fuhren zurück zum Unterbecken, wo wir das Pumpspeicherwerk noch einmal ausführlich an Modellen erklärt bekamen.

Danach gab es von 12:00 – 13:00 Uhr in der Betriebskantine Essen. Das war sehr gut und reichlich und erinnerte doch schon an Essen von „Muttern“.

Danach fuhren wir mit unseren beiden Kleintransportern zum Info-Punkt der Deutschen Bahn in Goldisthal. Dort sollten wir Einiges über die ICE-Neubaustrecke VDE 8.1 Ebensfeld-Erfurt erfahren.

Ein ehemaliger Mitarbeiter eines Ingenieurbüros das mit für die Planung der Strecke verantwortlich war, nahm uns in Empfang. In einem gut einstündigen Vortrag erfuhren wir sehr viel über die Planung der Strecke, die auf Grund der geografischen Lage den Bau sehr vieler Tunnel zur Folge hatte.

Anschließend bekamen wir alle eine Notfallausrüstung überreicht und bestiegen wieder einen Kleinbus, der uns bis zur Neubaustrecke brachte.





Wir fahren durch eine sehr reizvolle Thüringer Landschaft, die wir aber leider durch einen Schlechtwettereinbruch kaum genießen konnten. Wir machten an verschiedenen Punkten Halt, um das gesamte Ausmaß der Neubaustrecke zu erkennen.

Der Bau eines solchen Tunnels für eine ICE-Strecke ist eine ingenieurtechnische Meisterleistung. Eine Unmenge an Beton wird benötigt, welches wieder eine Herausforderung an die Statik nach sich zieht. Die Einkalkulierung, dass zwei mit hoher Geschwindigkeit fahrende ICE-Züge im Tunnel aneinander vorbeifahren müssen, ist ebenso eine Herausforderung an das Gleissystem und dessen Material.



Auch die Planung von Brücken fällt mit in dieses Projekt, da sich diese in das Landschaftsbild einfügen müssen.

Nach einem sehr interessanten Tag und „vollgestopft“ mit neuem Wissen und Informationen, traten wir kurz nach 16:00 Uhr die Heimreise Richtung TU Chemnitz an.

## 8.6 Verleihung des Universitätspreises 2016 an M.Sc. Alexander Klitzsch am 19. Oktober 2016

Acht Absolventen der Technischen Universität Chemnitz wurden am 19. Oktober 2016 im Rahmen einer Festveranstaltung in der Industrie- und Handelskammer Chemnitz mit Universitätspreisen für ihre herausragenden Abschlussarbeiten ausgezeichnet.

An der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik erhielt Alexander Klitzsch die Auszeichnung für seine an unserem Lehrstuhl von Dr. Teuscher betreute Masterarbeit zum Thema „Technische Betrachtung der Spannungserhöhung auf 750 V Fahrdrabtrahnnennspannung im Chemnitzer Straßenbahnnetz für die Bereiche Infrastruktur und Fahrzeuge“.

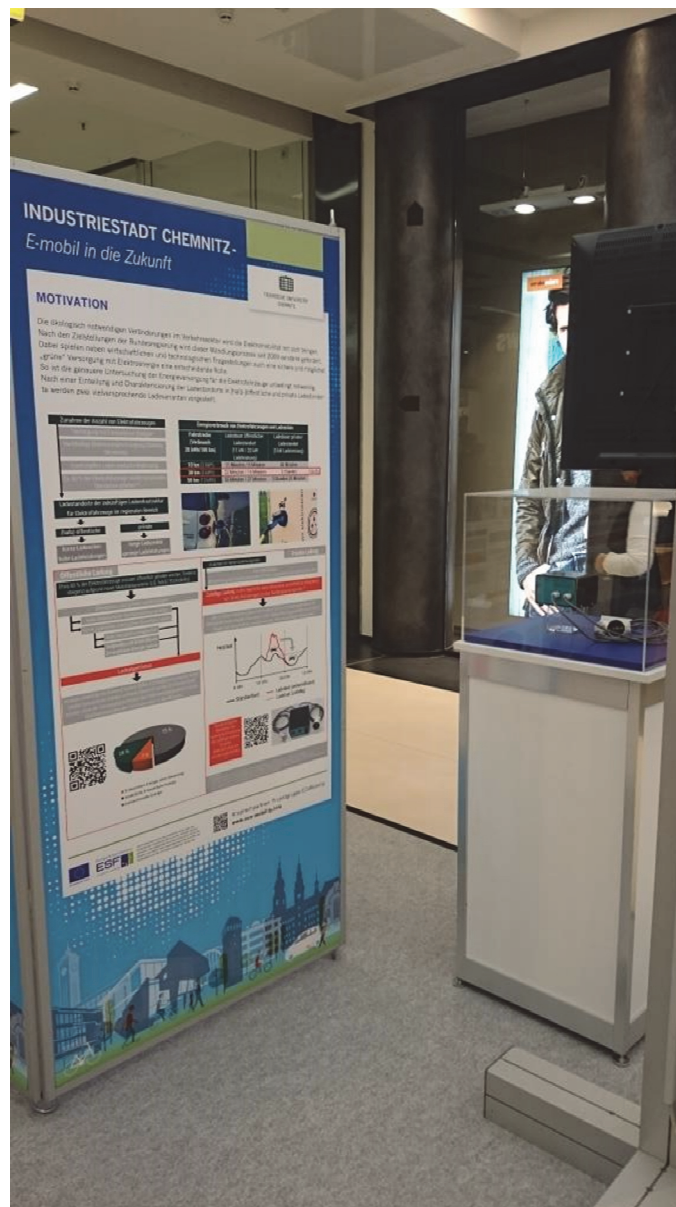


Wir gratulieren von ganzem Herzen Herrn Klitzsch (3. von rechts) für diese Auszeichnung und wünschen Ihm für seinen weiteren Werdegang nur das Beste.

## 8.7 Ausstellung „Industriestadt Chemnitz – E-mobil in die Zukunft“ in der Galerie Roter Turm

Da die Elektromobilität eine der wichtigsten Herausforderungen für eine erfolgreiche infrastrukturelle Entwicklung der Zukunft ist und zur Minderung von Umweltbelastungen beitragen kann, widmete sich im Oktober 2016 eine Ausstellung dieser Thematik. So wurden vom 17. bis 30. Oktober im Einkaufscenter Galerie Roter Turm in Chemnitz innovative Ideen und neue Konzepte vorgestellt. Weiterhin bestand die Möglichkeit unterschiedliche Elektrofahrzeuge zu besichtigen. Dabei wurde ebenso die historische Entwicklung der Elektromobilität speziell für Chemnitz beleuchtet. Ziel der Ausstellung war es, das Thema Elektromobilität in das Bewusstsein der Bevölkerung zu tragen.

Wir als Professur beteiligten uns mit der Vorstellung unserer bisherigen und aktuellen Forschungsaktivitäten. So konnte neben der ESF-Nachwuchsforschergruppe ECoMobility auch die beiden Promotionsprojekte von Herrn Kühnert und Dr. Götz vorgestellt werden.



## 8.8 Workshop „Vernetze Elektromobilität an der TU Chemnitz“ am 03. November 2016

Im Rahmen der ESF-geförderten Projekte fahrE und ECoMobility arbeiten verschiedene Professuren bereits seit 2011 an Entwicklung und Erforschung einer unternehmensinternen Mobility on Demand-Lösung mit Elektroautos, Elektrofahrrädern und ÖPNV-Anbindung. Hierbei stehen neben der technischen Implementierung und marktwirtschaftlichen Analyse auch das nutzerzentrierte Design und die Erforschung des Nutzerverhaltens im Vordergrund. In dem Workshop wurden Vertreter kommunaler Verwaltung sowie Partner aus Industrie und Forschung über Projektergebnisse aus fahrE sowie den aktuellen Projektstand mit ersten Ergebnissen von ECoMobility informiert. Nach den Vorträgen entstanden rege und konstruktive Diskussionen mit den Teilnehmern zu den Themen Nutzerwünsche, technische Entwicklung und Wirtschaftlichkeit von Elektromobilität. Auch in persönlichen Gesprächen wurden viele Erfahrungswerte und Anregungen für die weitere Projektarbeit ausgetauscht.



## 8.9 Verteidigung der Dissertation von Dr.-Ing. Sven Hunold am 15. Dezember 2016

*„Algorithmische Bestimmung der Alterungscharakteristik von Mittelspannungskabelmuffen  
basierend auf diagnostischen Messwerten und Betriebsmitteldaten“*

Gutachter: Prof. Dr. Schufft, TU Chemnitz  
Prof. Dr. Plath, TU Berlin  
Beisitzer: Prof. Dr. Rethmeier, FH Kiel  
Dr. Paulus (BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH)

Im Rahmen seiner Promotion analysierte Herr Dr. Hunold die Möglichkeit der Identifizierung von Fehlern in Mittelspannungskabelmuffen, die im Zusammenhang mit deren Alterung stehen. Mit den Ergebnissen sollen zukünftig die Restlebensdauern von Mittelspannungskabelmuffen verlängert werden können. Hierfür wurden verschiedene Alterungstypen definiert, die in der späteren praktischen Anwendung als Entscheidungshilfe für Instandhaltungsmaßnahmen dienen sollen.



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



## 8.10 Weihnachtsfeier am 15. Dezember 2016

In diesem Jahr trafen wir uns zu unserer Weihnachtsfeier im „Schlosshotel Klaffenbach“. In geselliger Runde saßen wir im Gewölbekeller des Hotels, welcher sehr schön weihnachtlich geschmückt und gemütlich war.

Auch in diesem Jahr mussten wir leider auf die winterliche und verschneite Landschaft verzichten.

Die Speisekarte, die Qualität und Quantität der Speisen waren ganz exzellent. Die Bedienung war sehr freundlich und stets zur Stelle. Das Preis-Leistungs-Verhältnis war in Ordnung und das Hotel ist auch für andere Anlässe durchaus weiter zu empfehlen!



Natürlich haben wir zu dieser Weihnachtsfeier erneut unsere Wichtelrunde mit großen Hoffnungen auf ein Päckchen mit tollem Inhalt durchgeführt. Am Ende hatte jeder etwas, worüber er sich freuen konnte.



## 9 Ausstattung für Praktika und Prüfungen in der Hochspannungstechnik

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



Praktikumsversuche:

- *Funkenstrecken*
- *Erzeugung und Messung hoher Gleich- und Wechselspannungen*

Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200 kV



Praktikumsversuch:

- *Isolatoren*

### Geschirmte Messkabine zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung



Praktikumsversuch:

- *Verlustfaktormessung ( $\tan \delta$ )*

### Stoßspannungsgenerator zur Erzeugung von Blitzstoß- und Schaltstoßspannungen bis 600 kV



Praktikumsversuch:

- *Erzeugen von Stoßspannungen/ Einfluss der Elemente des Stoßspannungsgenerators*

Wechselspannungs-Prüfsystem zur Erzeugung von Wechselspannungen bis 200 kV



Mobiles Resonanzprüfsystem zur Teilentladungs- und Verlustfaktormessung und Spannungsprüfung



# 10 Laborausstattung

## Verfügbare Hardware

### 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 MI 600 (Omicron)

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

### Verlustfaktormessung DIRANA – Dielectric Response Analyser (Omicron)

Frequenzbereichsspektroskopie (FDS)  
Messung von Polarisations-/Depolarisationsströmen (PDC)

### Digitales Teilentladungsmess- und Diagnosesystem MPD 600 (Omicron)

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

### TE-Fehlstellenortung mit MPD 600 (Omicron)

Abtastrate bis 250 Megasample pro s  
Ortungsgenauigkeit bis 0,2 % der Kabellänge

### Kabeldiagnosesystem CDS

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

### Transportables Hochspannungsnetzgerät 6,5 kV/ 0,02 A

### 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  $\mu$ s)

Mikrotom - Schneidgerät für Untersuchung von Wasserbäumchen (water trees) an PE-KabelnTransienten Recorder DEWE-3020

8-Kanal Recorder und 8 Kanäle Erweiterung  
Abtastrate 200 KSa/s  
Auflösung 24 bit

Transienten Recorder YOKOGAWA DL 708

8-Kanal Scope Recorder  
Abtastrate bis 10 MSa/s  
Auflösung 10 bit

Digitalspeicher Oszilloskope YOKOGAWA DL9040L und Rohde & Schwarz RTM2054

4 Kanäle  
Abtastrate bis 5 GSa/s  
Bandbreite 500 MHz  
Auflösung 8 bit / 16 bit im High-Resolution Mode

Datenlogger DA 100 (YOKOGAWA) mit 10 Kanälen

kürzestes Messintervall: 2 s  
Speichertiefe: nur begrenzt durch Festplatte des Logger-PC

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

Messgröße: Photonendosisleistung  
Messbereich: 0,1  $\mu$ 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  $\mu$ T, 10  $\mu$ T, 100  $\mu$ 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 Toellner 8872

40V/ 100A

**Verfügbare Software**MATLAB

Programmpaket zur Analyse von Daten, Durchführung von Simulationen und Programmierung

ATP/EMTP

Simulation dynamischer und transienter Netzvorgänge der Energieversorgung

EMTDC/PSCAD

Simulation dynamischer und transienter Netzvorgänge mit leistungselektronischen Betriebsmitteln in Elektroenergiesystemen

DIGSILENT „POWERFACTORY 2016“ und Elektra 3.98

Stationäre Berechnung und Simulation von Lastflüssen und Kurzschlüssen in elektrischen Netzen

FlexPro 10

Konvertierung, Bearbeitung und Analyse von Messwertdatensätzen

VIG 2011

Virtueller Impulsgenerator zur Simulation von Stoßspannungsimpulsen im Internet unter:

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

# 11 Dienstleistungsangebote

## 11.1 Dielektrische Prüfungen

Wechselspannungsprüfungen bis 200 kV

Stoßspannungsprüfungen bis 600 kV

Gleichspannungsprüfungen bis 140 kV

FGH-Stufentest an Mittelspannungskabeln bis 150 kV

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

## 11.2 Diagnosemöglichkeiten

Verlustfaktormessungen mit unterschiedlichen Messprinzipien im Labor

Verlustfaktormessungen Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

Teilentladungsmessungen mit unterschiedlichen Messprinzipien im Labor

Verlustfaktormessung Vor-Ort mit einem mobilen Resonanzprüfsystem

Isotherme Relaxationsstrom-Analyse (IRC) an Energiekabeln

Messungen von Isolations- und Ableitwiderständen

## 11.3 Prüfung der Stromtragfähigkeit

Widerstandsmessungen von Hauptstrombahnen

Hochstromprüfungen, Erwärmungsprüfungen bis 2.000 A (größere Ströme auf Anfrage) für:

- Leiteranordnungen
- Geräte
- Schaltfelder

## 11.4 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

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



## 11.5 Virtueller Stoßspannungsgenerator

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

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

## 11.6 Netzanalysen

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

Netzverlustanalysen

Versorgungszuverlässigkeit

Netzoptimierung

Oberschwingungsanalysen an Netzanschlusspunkten des Übertragungsnetzes

Berechnungen von transienten Vorgängen

## 12 Referenzen

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

- inetz GmbH, Chemnitz
- Stadtwerke Leipzig GmbH
- ENSO Netz, Dresden
- MITNETZ Strom GmbH, Halle/Saale
- Städtische Werke Magdeburg GmbH & Co. KG

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
- Stadtwerke Annaberg-Buchholz Energie AG

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 transienter 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

- inetz GmbH, 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

Untersuchung der Resonanzstellen und Störungsanalyse für das Netzanschlussystem BorWin1 inklusive des Offshore-Netzes (OWP BARD und Global Tech I)

- TenneT Offshore GmbH

Erweiterung des D- und D0-Schmelzsicherungssystems

- NH/HH Recycling e.V.

Erstellung von Zielkonzepten für eine Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG



Teilgebiete		Elektrische Energietechnik			Hochspannungstechnik		
Inhalt	Regenerative Energiequellen	Energie-management	Elektroenergiesysteme	Beanspruchung von Betriebsmitteln	Überspannungen u. Isolationskoordination	Geräte- und Isoliertechnik	
<b>Bachelor-Studiengang Elektrotechnik</b>							
<b>Semester</b>							
Modularisierte Bachelor-Master-Studiengänge	3.						
	4.						
	5.					Hochspannungstechnik 3 1 2	
	6.			Elektroenergieübertragung und -verteilung 3 1 2			
					Netze und Betriebsmittel 2 1 0		
				<b>Bachelorarbeit</b>			
<b>Master-Studiengang Energie- und Automatisierungssysteme</b>							
Ergänzungsmodul (Pflicht, Wahlpflicht, Wahl)	7.				Beanspruchung von Betriebsmitteln 3 1 1		
	8.		Elektroenergiewirtschaft 1 0 0			Statistik und Isolationskoordination 2 1 0	
					Netzberechnung und Schutztechnik 1 1 0		Diagnose- und Messtechnik 2 0 0
	9.					Praktikum	
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	
					Modellierung zukünftiger Niederspannungsnetze		
Dezentrale Energiesysteme					Speichersysteme für eine nachhaltige Energieversorgung		
					Probabilistische Netzplanung		
<b>Anspruch:</b>	<b>Kompetenzzentrum für aktuelle Fragestellungen der Elektroenergieversorgung</b>						

Anfahrtsskizze:



Sie finden uns hier!

## Notizen

## Notizen