



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

JAHRESBERICHT 2013

INSTITUT FÜR ELEKTRISCHE ENERGIEVERSORGUNG
UND HOCHSPANNUNGSTECHNIK



Vorwort

Sehr geehrte Freunde des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik,

auch in diesem Jahr wollen wir Sie mit dem Jahresbericht 2013 über wichtige Ereignisse und Aktivitäten des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik informieren. Dabei können wir wieder auf erfolgreiche Arbeiten in der Lehre und in der Forschung zurückblicken.

Auch in dem vergangenen Jahr hatte das Thema Energietechnik in der Öffentlichkeit und der Politik eine große Aufmerksamkeit. Die Erhöhung der Leistungsfähigkeit der elektrischen Netze im Rahmen der Energiewende und die Integration von Elektrofahrzeugen in diese Netze standen und stehen im Zentrum der Medienberichte. Hieraus ergeben sich zahlreiche Forschungsfragen, die unmittelbar die Aktivitäten unseres Instituts tangierten. So steht die Eröffnung eines neuen Teststandes im Rahmen des Projektes ElmoNetQ, gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, in diesem Kontext. In dem Projekt werden die Auswirkungen der Ladung von Elektrofahrzeugen auf die Strom- und Spannungsqualität untersucht.

Die immer höhere betriebs- und umgebungsbedingte Belastung vieler unserer elektrotechnischen Betriebsmittel macht auch vor Hochspannungs-Freileitungen nicht Halt. Seit Längerem sind thermisch hoch belastbare Freileitungsseile – Hochtemperaturseile – im Gespräch und bereits im praktischen Einsatz. Diese ermöglichen in Spitzenzeiten den europäischen Stromhandel sowie den Transport regenerativer Energie. Eine potenzielle Engstelle sind dabei die Armaturen zum Verbinden und Anschließen dieser Seile. Um langfristig stabile und zuverlässige Verbindungen zu garantieren, werden in Forschungsprojekten mit einem Hersteller und einem Übertragungsnetzbetreiber bestehende Armaturen untersucht und neue, dafür besonders geeignete, Werkstoffe und ein neues Design untersucht.

In den Räumen des Instituts (Töplerbau) wurde mit größeren Baumaßnahmen begonnen. Es findet eine grundlegende Deckensanierung (Feuerschutz) und ein Austausch der Heizungsanlage statt. Diese dringend notwendigen Arbeiten führen zu erheblichen zusätzlichen Belastungen für die Mitarbeiter, sowohl durch Lärm und Schmutz als auch die Notwendigkeit im Gebäude umzuziehen. Nach Plan sollen die Arbeiten im Jahr 2015 abgeschlossen werden.

Die Studierenden des vor zwei Jahren eingeführten Studiengangs „Regenerative Energiesysteme“ haben nun das Hauptstudium erreicht. Damit steigen die Zahlen der Studierenden in den Pflichtfächern der Studienrichtung „Elektroenergietechnik“ erheblich an. In diesem Wintersemester besuchen über 120 Studenten die Vorlesungen, Übungen und Praktika unserer Pflicht-

module. Ein so großes Interesse an der Studienrichtung gab es in den letzten 20 Jahren nicht. Umso wichtiger ist die Unterstützung bei der vertiefenden Ausbildung der Studierenden durch Dozenten aus der Industrie. Herr Professor Gert Hentschel, Herr Dr. Matthias Hable und Herr Jörg Schindler haben durch ihre Lehrangebote wesentlich dazu beigetragen, den engen Praxisbezug zu erhalten und auszubauen. Dafür möchten wir uns bei ihnen herzlich bedanken.

Im vergangenen Jahr ist unsere ehemalige Mitarbeiterin, Frau Waltraud Müller, in den wohlverdienten Ruhestand gegangen. Sie hat uns viele Jahre bei internen Abläufen ganz wesentlich unterstützt und hinterlässt nun eine spürbare Lücke. Für ausgewählte Vorlesungen konnten wir wieder dankbar auf die Erfahrungen externer Fachleute zurückgreifen: Dr. Reiner Fiebig, Herr Matthias Kudoke und Herr Dr. Dirk Kunze.

Ein besonderer Dank gilt den ehemaligen Mitarbeitern unseres Instituts, Doz. Dr. Hartmut Bauer, Dr. Eberhard Engelmann, PD Dr. Helmut Löbl und Prof. Gert Winkler. Sie haben uns auch im letzten Jahr, trotz ihres wohlverdienten Ruhestandes, wieder mit Rat und Tat unterstützt.

Allen Forschungspartnern, mit denen wir auch in diesem Jahr wieder erfolgreich und in wachsendem Umfang zusammenarbeiten konnten, gilt unser ausdrücklicher, herzlicher Dank.

Diesen Jahresbericht nehmen wir zum Anlass, allen Mitarbeitern des Instituts, Freunden und Partnern für ihre tatkräftige Mitarbeit und Unterstützung im vergangenen Jahr zu danken.

Wir wünsche Ihnen ein gesundes, erfolgreiches und frohes Jahr 2014 und freuen uns auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit.

Dresden, Dezember 2013



Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner



Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann

Inhaltsverzeichnis

1 Personelle Besetzung	4
1.1 Lehrstuhl Elektroenergieversorgung	4
1.2 Lehrstuhl Hochspannungs- und Hochstromtechnik	6
1.3 Labor und Werkstatt	7
2 Lehre	8
2.1 Lehrveranstaltungen	8
2.1.1 Lehrveranstaltungen für das Grundstudium	8
2.1.2 Lehrveranstaltungen für das Hauptstudium	8
2.1.3 Lehrexport an andere Fakultäten – Grundstudium	11
2.2 Studentische Arbeiten	12
2.2.1 Studienarbeiten und Forschungspraktika	12
2.2.2 Bachelorarbeiten	14
2.2.3 Diplom- und Masterarbeiten	15
3 Forschung	17
3.1 Lehrstuhl Elektroenergieversorgung	17
3.1.1 Forschungsschwerpunkte	17
3.1.2 Forschungsprojekte	20
3.1.3 Publikationen	60
3.2 Lehrstuhl Hochspannungs- und Hochstromtechnik	66
3.2.1 Forschungsschwerpunkte	66
3.2.2 Forschungsprojekte	68
3.2.3 Publikationen	96
3.3 Preise und Auszeichnungen	101
4 Kooperationen	102
4.1 Wissenschaftskooperationen	102
4.2 Industriekooperationen	104
4.3 Kommissions- und Gremienarbeit	106
4.3.1 Lehrstuhl Elektroenergieversorgung	106
4.3.2 Lehrstuhl Hochspannungs- und Hochstromtechnik	107
5 Veranstaltungen	108

1 Personelle Besetzung

1.1 Lehrstuhl Elektroenergieversorgung

Titel	Nachname	Vorname	Telefon (0351-463-)
<i>Hochschullehrer</i>			
Prof. Dr.-Ing.	Schegner	Peter	34374/ Fax 37036
<i>Professoren und Hochschullehrer im Ruhestand</i>			
Dozent Dr.-Ing.	Bauer	Hartmut	35104
Prof. Dr.-Ing. habil.	Winkler	Gert	35088
<i>Sekretariat</i>			
	Scharf	Regina	33202
<i>Projektmanagement</i>			
Dipl.-Ing.	Keller	Jan	35432
<i>Wissenschaftliche Mitarbeiter</i>			
M.Sc.	Blanco	Ana Maria	32217
M.Sc.	Cabadag	Rengin Idil	43205
M.Techn.	Chakravorty	Diptargha	(bis 09/2013)
M.Techn.	Dattaray	Papiya	(02/2013 bis 07/2013)
Dipl.-Ing.	Dickert	Jörg	43201
Dipl.-Ing.	Domagk	Max	35223
Dipl.-Ing.	Erdmann	Niels	43203
Dipl.-Ing.	Heß	Tobias	32941
Dipl.-Ing.	Gasch	Etienne	43206
M.Sc.	Jäschke	Christian	35353
Dipl.-Ing.	Klatt	Matthias	43207
Dipl.-Ing.	Kreutziger	Marcus	43202

Titel	Nachname	Vorname	Telefon (0351-463-)
<i>Wissenschaftliche Mitarbeiter</i>			
Dr.-Ing.	Meyer	Jan	35102
Dr.-Ing.	Meyer	Jörg	35272
Dipl.-Ing.	Möller	Friedemann	43209
Dipl.-Ing.	Müller	Sascha	43210
Dipl.-Ing.	Palm	Sebastian	35272
Dr.	Raubal	Evgeniya	(10/2013 bis 11/2013)
Dr.-Ing.	Schmidt	Uwe	43204
Dipl.-Ing.	Schöttke	Stefan	43208
Dr.-Ing.	Schulze	Roberto	(bis 08/2013)
Dipl.-Ing.	Schnelle	Tobias	33725
Dipl.-Ing.	Stiegler	Robert	32217
Dipl.-Ing.	Werner	Jens	32941
M.Sc.	Yanchenko	Sergey	(11/2012 bis 03/2013)

1.2 Lehrstuhl Hochspannungs- und Hochstromtechnik

Titel	Nachname	Vorname	Telefon (0351-463-)
<i>Hochschullehrer</i>			
Prof. Dr.-Ing.	Großmann	Steffen	33428/ Fax 37157
<i>Professoren und Hochschullehrer im Ruhestand</i>			
Prof. Dr.-Ing. habil.	Eberhardt	Martin	
Dr.-Ing.	Engelmann	Eberhard	
PD Dr.-Ing. habil.	Löbl	Helmut	32138
<i>Sekretariat</i>			
	Hendrich	Ulrike	33428
<i>Projektmanagement</i>			
M.Sc.	Mehnert	Kathleen	32963
<i>Wissenschaftliche Mitarbeiter</i>			
Dipl.-Ing.	Adam	Robert	34789
Dipl.-Ing.	Backhaus	Karsten	33608
Dr.-Ing.	Baumann	Matthias	33080
Dipl.-Wi.-Ing.	Dreier	Sebastian	34756
M.Sc.	Esmaeil Moghadam	Davoud	33608
M.Eng.	Bakka	Maher	34948
Dipl.-Ing.	Fuhrmann	Torsten	32746
Dipl.-Ing.	Gatzsche	Michael	34756
Dipl.-Ing.	Gründel	Melanie	34789
Dipl.-Ing.	Hagen	Benjamin	(bis 09/2013)
Dipl.-Ing.	Hering	Maria	33608
Dipl.-Ing.	Hildmann	Christian	33917
Dipl.-Ing.	Kaufmann	Benjamin	34948
Dipl.-Ing.	Kühnel	Christian	33917
Dipl.-Ing.	Lücke	Nils	34756
Dipl.-Ing.	Pampel	Hans-Peter	33103
Dipl.-Ing.	Pfeifer	Stephanie	32746

Titel	Nachname	Vorname	Telefon (0351-463-)
<i>Wissenschaftliche Mitarbeiter</i>			
Dipl.-Ing.	Ramonat	Alexander	33917
Dr.-Ing.	Speck	Joachim	33105
Dr.-Ing.	Schlegel	Stephan	32746
Dipl.-Ing.	Voigt	Matthias	33080
M.Eng.	Wei	Moyan	33080
<i>Technische Angestellte</i>			
Dipl.-Ing. (FH)	Göres	Axel	32613
	Müller	Waltraut	(bis 03/2013)

1.3 Labor und Werkstatt

Nachname	Vorname	Telefon (0351-463-)
Dittrich	Ralf	34745
Eusewig	Falk	34757
Gläser	Michael	34260
Jaroszinsky	Gerd	34745
Knüpfel	Helge	34260
Reichelt	Eric	34745
Wermuth	Peter	34745

2 Lehre

2.1 Lehrveranstaltungen

2.1.1 Lehrveranstaltungen für das Grundstudium

Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
<i>Modul Elektroenergietechnik</i>		
Elektroenergietechnik <i>Prof. Schegner</i>		3/1/0
Praktikum Elektroenergietechnik	0/0/1	

2.1.2 Lehrveranstaltungen für das Hauptstudium

Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
<i>Modul Hochspannungs- und Hochstromtechnik</i>		
Hochspannungs- und Hochstromtechnik <i>Prof. Großmann</i>		2/1/0
Praktikum Hochspannungs- und Hochstromtechnik		0/0/1
<i>Modul Grundlagen elektrischer Energieversorgungssysteme</i>		
Betriebsmittel und Berechnungsgrundlagen für elektrische Energieversorgungssysteme <i>Prof. Schegner</i>		2/1/0
Grundlagen der Elektroenergieanlagen		1/1/0
<i>Modul Betrieb elektrischer Energieversorgungssysteme</i>		
Betrieb von elektrischen Energieversorgungssystemen und -anlagen <i>Prof. Schegner</i>	2/1/0	
Praktikum Elektroenergiesysteme	0/0/1	
Praktikum Hochspannungstechnik 2	0/0/1	

Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
<i>Modul Hauptseminar</i>		
Hauptseminar Elektrische Energietechnik <i>Prof. Schegner/ Prof. Großmann</i>	0/2/0	
<i>Modul Oberseminar</i>		
Oberseminar Elektrische Energieversorgung <i>Prof. Großmann</i>		0/2/0
Oberseminar Elektrische Energieversorgung <i>Prof. Schegner</i>	0/2/0	
<i>Modul Systemverhalten und Versorgungsqualität elektrischer Energieversorgungssysteme</i>		
Netzbetrieb von Elektroenergiesystemen <i>Prof. Winkler</i>		2/1/0
Netzbetrieb	0/0/1	
<i>Modul Planung elektrischer Energieversorgungssysteme</i>		
Netzplanung <i>Prof. Schegner/ Dr. Hable</i>	1/0/0	
<i>Modul Schutz- und Leittechnik in elektrischen Energieversorgungssystemen</i>		
Selektivschutztechnik <i>Prof. Schegner/ Dr. Jörg Meyer</i>		2/1/0
Leittechnik <i>Prof. Schegner/ Dipl.-Ing. Schindler</i>		1/1/0
Praktikum Sekundärtechnik		0/0/1
<i>Modul Beanspruchung elektrischer Betriebsmittel</i>		
Erwärmungsverhalten Elektrische Kontakte und Verbindungen Mechanische Beanspruchung <i>Prof. Großmann/ Dr. Schlegel/ Dipl.-Ing. Luecke/ Dipl.-Ing. Adam</i>		3/0/0
Geräte der Energietechnik <i>Prof. Großmann</i>		0/1/0
Praktikum Beanspruchung elektrischer Betriebsmittel		0/0/2

Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
<i>Modul Experimentelle Hochspannungstechnik</i>		
Experimentelle Hochspannungstechnik <i>Prof. Großmann/ Dr. Speck</i>		4/0/2
<i>Weitere Vertiefungsfächer</i>		
Aktuelle Probleme der Elektrischen Energieversorgung und Hochspannungstechnik <i>Prof. Schegner/ Prof. Großmann</i>		0/2/0
<i>Weitere Vertiefungsfächer nach der Diplomprüfungsordnung von 2003 (letztmalig im WS 2012/13 und SS 2013 angeboten)</i>		
Blitzschutztechnik <i>Prof. Großmann</i>	2/0/0	
Statistik für Elektrotechniker <i>Prof. Großmann/ Dr. Speck</i>	2/0/1	
Hochspannungsprüf- und -Messtechnik <i>Prof. Großmann/ Dr. Speck</i>		2/0/1
Hochspannungsisoliertechnik <i>Prof. Großmann/ Dr. Speck</i>		2/0/0
Hochspannungsgeräte <i>Prof. Großmann/ Dr. Schlegel/ Dipl.-Ing. Adam</i>	2/0/1	
Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung <i>Doz. Dr. Bauer</i>	1/1/0	
Aktuelle Probleme der Elektrischen Energieversorgung und Hochspannungstechnik <i>Prof. Schegner/ Prof. Großmann</i>		0/2/0
Praktikum Hochstromtechnik		0/0/2

2.1.3 Lehrexpert an andere Fakultäten – Grundstudium

Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure und Lehramt an berufsbildenden Schulen Doz. Dr. Bauer		2/1/0
Hochspannungstechnik für Wirtschafts- und Verkehringenieure (Diplom) Prof. Großmann / Dr. Speck	0/0/1	2/1/0
Hochspannungs- und Hochstromtechnik für Wirtschaftsingenieure (Bachelor) Prof. Großmann		2/1/1
Elektrotechnik 1 + 2 für die Fakultät Maschinenwesen Prof. Großmann	2/2/0	2/2/0

2.2 Studentische Arbeiten

2.2.1 Studienarbeiten und Forschungspraktika

Apel, Thomas

Untersuchungen zum Durchschlagverhalten gasisolierter Schaltanlagen mit inhomogener Temperaturverteilung unter Anwesenheit einer festen Störstelle bei Gleich- und Mischspannungsbelastung

03/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Hering)

Derling, Toni

Erstellung eines Netzmodells zur Berechnung von Erdschluss-Restströmen im 110-kV-Netz unter Berücksichtigung von Harmonischen der Netzfrequenz in der Spannung

11/2013 (Betreuer: Dr.-Ing. Schmidt)

Donga, Dominique

Parametrierung, Prüfung und Inbetriebnahme eines automatischen Spannungs- und Lastflussregelsystems beim Trafobetrieb

07/2012 (Betreuer: Dr.-Ing. Jörg Meyer)

Friedrich, Axel

Alterung von Steckverbindungen in Trennschaltern gasisolierter Schaltanlagen durch Reibverschleiß

10/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Fuhrmann)

Gabler, Tobias

Untersuchen des Kraftabbaus in Schraubenverbindungen mit Stromschielen aus Reinaluminium und Al-Legierung

09/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Fuhrmann)

Gleichner, Benjamin

Leistungsgradienten von Solarkraftwerken und Dieselgeneratoren (Kleiner Beleg - Fak. MW)

01/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Heß)

Kobel, Frank

Untersuchungen zum Durchschlagverhalten gasisolierter Schaltanlagen mit inhomogener Temperaturverteilung am Isolator bei Gleich- und Mischspannungsbelastung

02/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Hering)

Hornhauer, Sebastian

Grundlegende Untersuchungen zur Korrelation zwischen der klimatischen Umgebung und ausgewählten Elektroenergiequalitätskenngrößen

06/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Domagk)

Hütter, Jan

Aufbau eines Versuchstandes zur Synthesegasproduktion aus Kohlenstoffdioxid und einer gezielten Hochspannungsentladung

08/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Backhaus)

Karberg, Stephan

Verbindungen der elektrischen Energietechnik unter harschen Umweltbedingungen

08/2012 (Betreuer: Dipl.-Wi.-Ing. Dreier)

Lies, Florian

Untersuchungen zur Montage und zum Betrieb von Hochtemperaturseilen und Armaturen

03/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Hildmann)

Ma, Liya

Messung und Bewertung der Oberschwingungsaussendung von Haushaltgeräten mit variablen Arbeitspunkten

16/2012 (Betreuer: M.Sc. Blanco)

Murcek, David

Sicherheitsbedingungen zur Überführung einer Hochspannungsimpulstechnologie von einer Laboranwendung in eine kommerzielle Anlage

05/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Voigt)

Neils, Nico

Untersuchungen zum Verhalten von PV-Anlagen bei Netzzustandsänderungen

12/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Werner)

Pnitzko, Tobias

Versorgungsstrategien 2025 für das Stadtgebiet Dresden - Elektrotechnischer Teil

11/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Dickert)

Schmidt, Maximilian

Primärregelreserve durch dezentrale Erzeugungsanlagen

10/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Heß)

Schuster, Daniel

Festigkeitsuntersuchung der Öl-Papier-Isolierung bei hoher Gleichspannung

15/2011 (Betreuer: Dipl.-Ing. Backhaus)

Spiegel, André

Untersuchung zur Alterung von Steckverbindungen durch Gleitverschleiß

04/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Fuhrmann)

Tschätsch, Sven

Entwurf und Aufbau einer Nachbildung von Photovoltaikmodulen zur Untersuchung von PV-Wechselrichtern

02/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Klatt)

Voigt, Thomas

Untersuchung zur Lastflussrechnung für die probabilistische Niederspannungsnetzplanung (Forschungspraktikum)

14/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Dickert)

Urban, Martin

Fehlererkennung auf gemischten Kabel-Freileitungsstrecken

13/2012 (Betreuer: Dr.-Ing. Jörg Meyer)

Wang, Rui

FEM-Berechnung der EGS-Performance rotierender Hochspannungsmaschinen

01/2012 (Betreuer: M.Eng. Wei)

Winkler, Martin

Entwicklung eines Hochstromgleichrichters

05/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Hildmann/Dipl.-Ing. Adam)

2.2.2 Bachelorarbeiten

Leibenath, Andreas

Wirtschaftlichkeitsanalyse von Monitoring-Systemen für 380-kV-Freileitungen

02/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Hildmann)

Stolle, Laura

Energiewirtschaftliches Potential von Regionalen Virtuellen Kraftwerken

04/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Werner)

2.2.3 Diplom- und Masterarbeiten

Hacker, Sebastian

Detektion von Inselnetzen und deren Auswirkungen auf das Schutzkonzept

13/2012 (Betreuer: Dr.-Ing. Jörg Meyer)

Hagen, Benjamin

Untersuchungen zur thermischen Beanspruchung von Kontaktelementen im Kurzschlussfall

11/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Gatzsche)

Holtz, Sabine

Aufbau eines Systems zur hochgenauen Messung höherfrequenter Ströme

14/2012 (Betreuer: M.Sc. Jäschke)

Hornhauer, Sebastian

Optimierte Blindleistungsbereitstellung durch dezentrale Erzeugungsanlagen in Umspannwerksnähe

05/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Dickert)

Ihle, Thomas

Thermische Optimierung eines Frequenzumrichter-Moduls (Powermodul)

12/2012 (Betreuer: Dr.-Ing. Schlegel)

Kühnel, Christian

Funktion von Schmelzsicherungen bei hoher thermischer Belastung

06/2012 (Betreuer: Dr.-Ing. Schlegel/Dipl.-Ing. Adam)

Lammert, Gustav

Dynamische Netzstützung im Niederspannungsnetz

15/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Heß)

Nunes Palma, David Joao

Design of Future Distribution Grids

17/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Dickert)

Ramonat, Alexander

Thermisches Verhalten von Leiterwerkstoffen bei tiefen Temperaturen abhängig von der Strombelastung

08/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Lücke/Dr.-Ing. Schlegel)

Reincke, Stefanie

Untersuchungen zur Regenprüfung bei ultrahohen Spannungen

05/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Pampel)

Warmbold, Daniel

Untersuchung zur konstruktiven Gestaltung von isolationsdurchdringenden Verbindungen

03/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Hildmann/Dipl.-Ing. Lücke)

Spiegel, André

Untersuchen der Interdiffusion in beschichteten Schraubenverbindungen mit Stromschienen aus Aluminium

06/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Fuhrmann)

Tran, Phuong

Entwurf der Regelung für einen Maschinensatz als Bestandteil des Combined Energy Lab

01/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Werner)

Yang, Yang

Festigkeitsuntersuchung der Öl-Papier-Isolierung bei hoher Gleichspannung

03/2013 (Betreuer: Dipl.-Ing. Backhaus)

Yang, Yi

Untersuchungen zum Kraftabbau an Steckverbindungen mit versilberten Kontaktlamellen bei Temperaturen bis 180 °C

16/2012 (Betreuer: Dipl.-Ing. Gatzsche)

3 Forschung

3.1 Lehrstuhl Elektroenergieversorgung

3.1.1 Forschungsschwerpunkte

Die elektrische Energieversorgung verändert sich zurzeit grundlegend. Neben der Integration von dezentralen und dargebotsabhängigen Energieerzeugungsanlagen (Wind- und Photovoltaik-Anlagen) sollen künftig auch Elektrofahrzeuge an das Niederspannungsnetz angeschlossen werden. Darüber hinaus erfolgt die Integration von kleinen und kleinsten Blockheizkraftwerken, sogenannte Mikro-KWK-Anlagen, in dieses Netz. Zukünftig wird ein sehr großer Teil der elektrischen Energie in der heutigen Verteilnetzebene produziert. Hierdurch entstehen vollkommen neue Anforderungen an die Betriebsführung, den Selektivschutz und an die Versorgungsqualität in diesen Netzen. Auch im Zusammenhang mit der Systemführung (Stabilität, Spannungshaltung usw.) sind grundlegende Untersuchungen notwendig. Um diesen geänderten Rahmenbedingungen gerecht zu werden, wurden die folgenden Forschungsschwerpunkte an der Professur für Elektroenergieversorgung etabliert. Zu jedem der Forschungsschwerpunkte wird eine Auswahl von im letzten Jahr bearbeiteten Themen genannt.

Power Quality

- Messgeräte-unabhängiges Datenbanksystem zur zentralen Speicherung von Messdaten der Elektroenergiequalität
- Effiziente Verfahren zur automatisierten, ortsübergreifenden Bewertung der Spannungsqualität bei großen Datenmengen
- Internetbasierte Austauschplattform für gemessene Oberschwingungsspektren von Haushaltsgeräten; PANDA (equiPment hArmoNic DAta-base)
- Identifikation und Qualifizierung korrelativer Zusammenhänge zwischen elektrischer bzw. klimatischer Umgebung und ausgewählten Elektroenergiequalitätskenngrößen
- Einfluss von Elektrofahrzeugen und Photovoltaik-Wechselrichtern auf die Strom- und Spannungsqualität im Niederspannungsnetz (ElmoNetQ)
- Entstehung und Ausbreitung höherfrequenter Emission im Frequenzbereich 2 kHz bis 150 kHz im Niederspannungsnetz

Smart Grid

- Smart Energy Management - Intelligentes Energiemanagement von Strom - Gas - Wärme - Kälte
- Regionales, virtuelles Kraftwerk auf Basis der Mini- und Mikro-KWK-Technologie - Intelligente Vernetzung von thermischen und elektrischen Verbrauchersystemen
- Combined Energy Lab - thermische und elektrische Versuchseinrichtung zum Test von Mikro-KWK-Anlagen

Schutz- und Leittechnik

- Auswirkungen der verstärkten Einbindung von großen Windparks in das Übertragungsnetz auf das Netzschutzsystem
- Anforderungen an die Erkennung von Netzpendelungen zur Stabilisierung bzw. Freigabe von Distanzschutzeinrichtungen
- Grundlagen des übergeordneten Schutzes von elektrischen Transport- und Verteilungssystemen (Systemschutz)

Planung und Betrieb von Netzen

- Stochastische bottom-up Modellierung von Niederspannungsnetzlasten
- Netzausbauplanung unter veränderten und unscharfen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen
- Nachhaltige Energiesysteme - Interdependenz von technischer Gestaltung und gesellschaftlicher Akzeptanz
- Energiewende Sachsen im transnationalen Kontext - Strategien und Lösungsansätze für ein nachhaltigeres Energieversorgungssystem
- Ermittlung des Ausbaubedarfs in Verteilnetzen

Induktive Wandler

- Analytische Berechnungs- und messtechnische Bewertungsverfahren von Generatorstromwandlern mit erweitertem Frequenzmessbereich
- Modellierung und Optimierung des Frequenzübertragungsverhaltens von Mittelspannungs-Spannungswandlern

3.1.2 Forschungsprojekte



Ana Maria Blanco, M.Eng.

Effect of supply voltage distortion on the harmonic emissions of electronic devices

Electronic devices are nonlinear loads that inject harmonic currents into low voltage (LV) grids, which could produce different problems in the distribution systems. Most of the studies in this area are based on simulations which use a simple current source to represent these loads.

The parameters of the current source (magnitude and angle of current harmonics) are usually obtained from measurements of the respective devices based on the specifications of international standards, like IEC 61000-3-2. These standards define a nearly undistorted voltage for the measurements. However, in the LV grids the voltage distortion is much greater, usually with THD values between 3% and 5% which change continuously. This voltage distortion could affect the current harmonics emitted by the electronic loads. Therefore, the current source may not be an adequate model.

The main aim of the project is to analyze the effect of supply voltage distortion on the harmonic emission of the main household electronic devices and determine the usefulness of the current source model [1]. Initially, the analysis is limited to the effect of the 3rd, 5th and 7th voltage harmonics only, because these are the dominating harmonics in most of the LV grids. First the time-domain models of generic electronic devices were developed. The generic models correspond to Single-phase switch mode power supplies (SMPS) without Power Factor Correction (PFC), with passive PFC and with active PFC, which are the main electronic topologies available in the market. Fig.1, for example, shows the model of a 24W Compact Fluorescent Lamp (SMPS without PFC) and the simulation results.

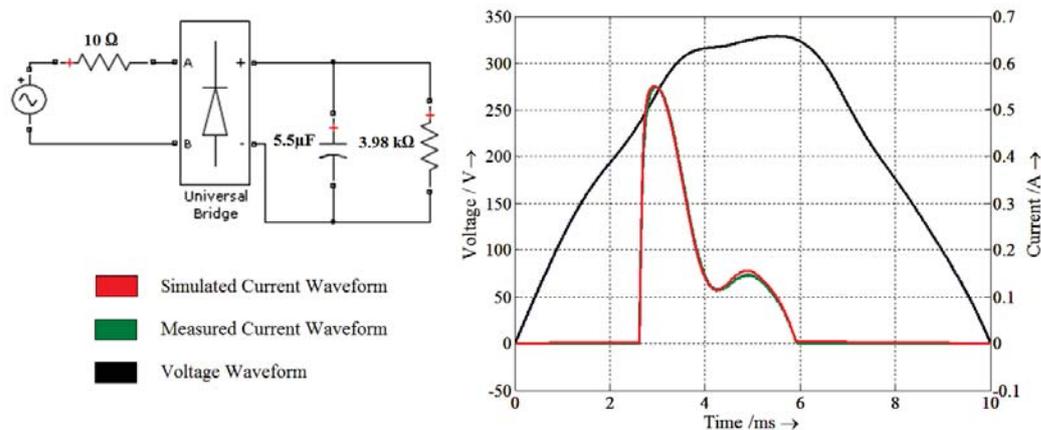


Figure 1: MODEL AND RESULTS OF A 24W CFL (SMPS WITHOUT PFC)

Table I: DEFINED CASES FOR THE ANALYSIS

Case	1	2	3	4	5	6	7
Selected voltage harmonics	3 rd	5 th	7 th	3 rd +5 th	3 rd +7 th	5 th +7 th	3 rd +5 th +7 th

The models were used to make several simulations in order to analyze the variation of the current harmonics emitted by single electronic devices when the magnitudes and angles of the voltage harmonics change. Seven cases with different variations of these voltage harmonics were defined (see Table I), where the magnitude was varied between 0 and 4% and the angle between 0° and 360° with an uniform distribution. As reference, the results with undistorted voltage were used.

Sets of 300 different voltage waveforms were generated for each case. The difference between simulation results and reference case was calculated in order to compare the results of the different topologies. Finally, the 5th to 95th percentile range was obtained for each data set to quantify the variation of the THD_i and the current harmonics by respective boxes.

Fig.II exemplary shows the variation of the THD_i and the 5th harmonic current for the different cases. The variation increases for cases with higher voltage distortion. Between the topologies, the SMPS without PFC behaves most sensitive while the active PFC seems to be the most robust topology in terms of supply voltage distortion. With these results it is clear that the traditional modeling of electronic devices with a constant current source may result in significant inaccuracies in the frequency domain.

If the voltage distortion in the LV grid is low and constant, current source models of electronic devices may be sufficient. However, depending on the variation of the voltage distortion, significant errors of several ten percent have to be expected. Introducing probabilistic aspects into the current source model can improve the quality and reliability of results. For accurate and reliable analysis it is better to use the time domain models.

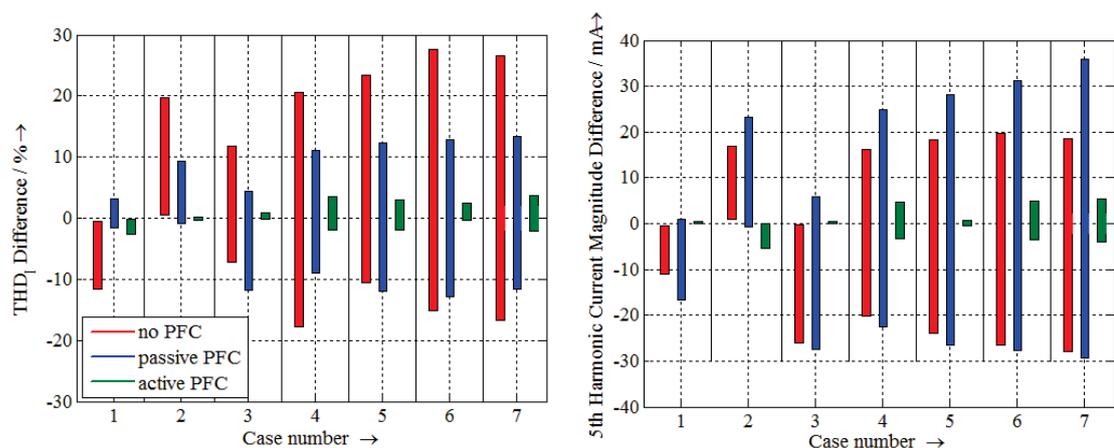


Figure II: VARIATION OF THE THD_i AND THE 5TH CURRENT HARMONIC MAGNITUDE DUE TO VOLTAGE DISTORTION

- [1] A.M. Blanco, S. Yanchenko, J. Meyer, P. Schegner. *Impact of Supply Voltage Distortion on the Harmonic Emission of Electronic Household Equipment*. VII Symposium about Quality of the Electric Energy - SICEL, Medellin - Colombia 2013.



Rengin Idil Cabadag, M.Sc.

Impact of High Penetration of Renewable Energy on Power Systems: Reactive Power Control Strategies via Heuristic Approaches

There are considerable reasons that make Renewable Energy important for the world's future. It has a much lower environmental impact than conventional energy technologies. Renewable Energy can improve energy security and energy independence on OPEC countries so that money would stay inside borders to create new industries and job opportunities. Moreover, Renewable Energy can help to set strong political ties between countries which share technological know-how. However, there is still long way in order to replace Renewable Energy with conventional power plants.

Wind energy is one of the most competitive and efficient energy sources among renewables and, as a result, usage of it is continuously increasing worldwide. Although wind energy is relatively cheaper among the other renewables, it is also variable and uncertain. Therefore, the high wind energy penetration causes several problems related to security, stability, power quality and operation of power systems. To overcome those difficulties, some countries such as Germany have developed Grid Codes Requirements. The reactive power requirements are illustrated with Power System Capability Curves (Figure I) and P-Q Diagrams of Wind Farms (Figure II). Wind farms connected generally to 110-kV distribution system have to have an ability to contribute not only active power generation but also reactive power balance in the grid by the means of Reactive Power Management. With a proper Reactive Power Management, reactive power demand on Point of Common Coupling (PCC), which is the point connects transmission to distribution side in the grid, can be adjusted depending on power system requirements.

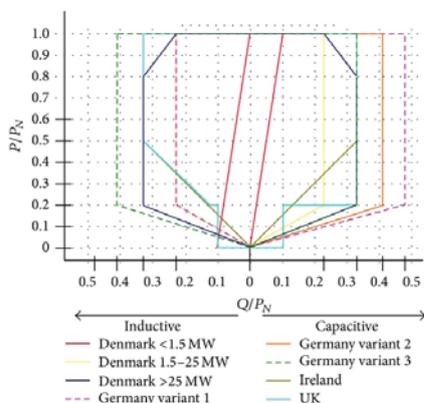


Figure I: REACTIVE POWER REQUIREMENTS OF VARIOUS GRID CODES

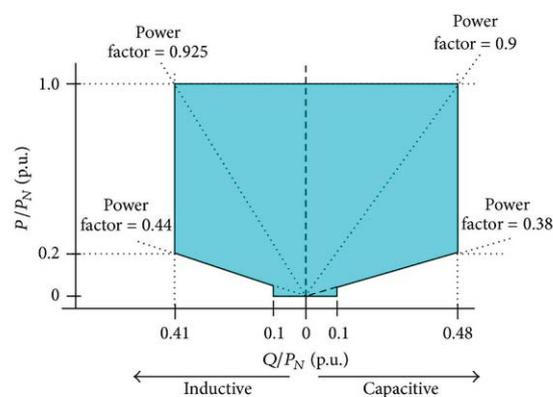


Figure II: P-Q DIAGRAMS OF WIND FARMS

In this research project, the main target is to define the requested operation actions to be implemented and required reactive power on PCC. The reactive power output of distributed wind farms is controlled by the reactive power capability curves. Newton Raphson based Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is used to search an optimal operation point which allows simultaneous power factor remote control of wind farms. The proposed algorithm is created in DigSILENT Programming Language (DPL) to be applied on different sized power systems (Figure III). This new approach connects PSO, which is population based heuristic approach, to Newton Raphson based Power Flow equations. As a result, optimal power factor values satisfying required Reactive Power on PCC for both actively and capacitively working wind farms are found under consideration of permissible voltage limits and P-Q Diagrams of Wind Farms.

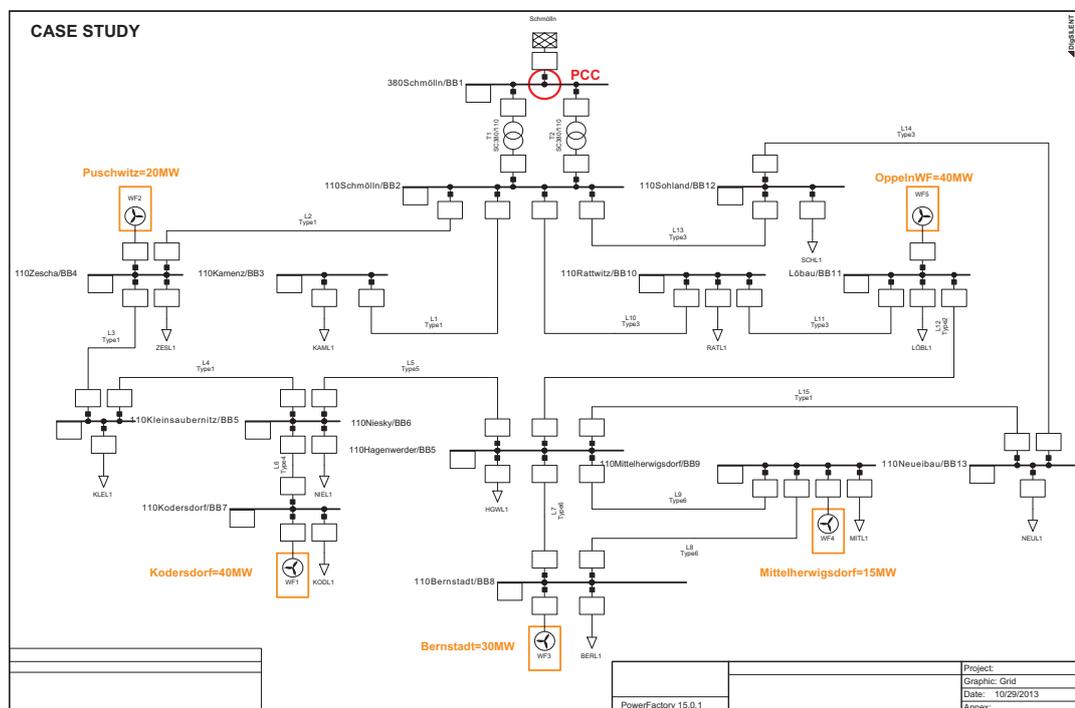


Figure III: STUDY CASE ON WHICH PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) IMPLEMENTED TO CALCULATE REQUIRED REACTIVE POWER ON POINT OF COMMON COUPLING (PCC)

Next steps of the research project are analysis the impact of proposed algorithm on transmission losses with consideration of operation voltages and examining the applicability of proposed algorithm on Larger Networks in order to create a robust optimization toolbox.



Jörg Dickert, Dipl.-Ing.

Perspektiven für die Auslegung von Niederspannungsnetzen

Die Gestaltung und Auslegung von Niederspannungsnetzen (NS-Netzen) erfolgt auf Grundlage vieler Rahmenbedingungen, welche sich seit der Entstehung der Elektrizitätsversorgungsnetze entwickelt haben. Dabei gibt es zum einen Paradigmen und Konventionen, welche sich als Best-Practice über Jahrzehnte etabliert haben, und zum anderen Grundsätze, welche unternehmensspezifisch festgelegt sind. Zudem gibt es Normen, welche zum einen die Interoperabilität der Betriebsmittel sicherstellen und zum anderen Regeln für eine sichere Auslegung vorgeben. In Tabelle I sind einige Beispiele für jede der dargelegten Kriterien mit möglichen technischen Ausführungen dargelegt.

TABELLE I: EINTEILUNG DER PLANUNGSKRITERIEN VON NS-NETZEN

FESTLEGUNG ALS	BEISPIEL	TECHNISCHE AUSFÜHRUNG
PARADIGMA	Systemart	Wechselstrom als 3-phasen Drehstrom
KONVENTION	Nennspannung	$U_n = 230 \text{ V}$ (Leiter-Erde)
GRUNDSATZ	Netzform	Strahlennetz
NORM	Spannungsband	$(90 \% \dots 110 \%) U_n$
	Stromtragfähigkeit	Abhängig vom Leiter, Isolierung, etc.

Ergänzend ist zu erwähnen, dass sich in der Welt zwei verschiedene Stromsysteme in der NS durchgesetzt haben. Am deutlichsten wird dies anhand der Netzspannung und Frequenz, welche zum einen in Europa, dem Großteil Afrikas, Asiens und Australiens/ Ozeaniens 220 ... 240 V mit 50 Hz und zum anderen in Nord-, Zentral- und Südamerika sowie in Teilen Japans 120 ... 140 V mit 60 Hz betragen.

Die Aufgaben der NS-Netze sind im steten Wandel, was bisher meist mit einem moderaten Lastanstieg einherging. Mit dem Erfolg der Erneuerbare-Energien-Anlagen kommt es mit der Lastflussumkehr jedoch zu einer grundlegend neuen Aufgabenstellung der NS-Netze. Zudem gibt es auf der Verbraucherseite einen Trend der Substituierung von Gas und Öl durch Elektrizität. Dies bedeutet, dass zunehmend mehr Elektrizität für Wärmepumpen oder Elektroautos vom NS-Netz bereitgestellt werden muss. Diese Verbraucher sind durch eine hohe Leistung, aber auch eine lange Nutzungsdauer zu charakterisieren. Damit erhöht sich die Höchstlast eines Abnehmers und der Gleichzeitigkeitsfaktor g . Durch diese beiden Komponenten ist eine deutli-

che Erhöhung der Gesamthöchstlast zu erwarten.

Ein abstrahierter Ansatz soll zeigen, wie sich die Übertragungsfähigkeit von NS-Abgängen bei einer Variation der Nennspannung U_n , Leistung als Höchstlast eines Haushaltsabnehmers P und Gleichzeitigkeitsfaktor g verändert. Die Versorgungsaufgabe ist dabei an ein ländliches Versorgungsgebiet angelehnt, wobei die Versorgungspunkte der Hausanschlüsse mit einem Abstand von 20 m verteilt sind. Der Wirkfaktor $\cos \varphi$ wird mit 1 angenommen. Eine Reduzierung der Übertragungsfähigkeit aufgrund eines höheren Belastungsgrades für die Kabel ist nicht berücksichtigt. Als Bewertungskriterium wird die maximale Länge ℓ eines NS-Strahls herangezogen.

In Bild I sind die Ergebnisse als maximale Länge für 3 Szenarien dargestellt, wobei in Ia eine minimale Spannung von 90 % U_n und in Ib eine minimale Spannung von 85 % U_n einzuhalten ist. Die Basisvariante ist $U_n = 400$ V mit $P = 8$ kW. Es zeigt sich, dass für die Basisvariante (grün) bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor $g < 0,52$ die Spannungshaltung das Auslegungskriterium ist. Bei $g \geq 0,52$ ist es die Stromtragfähigkeit. Heutzutage wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor von $g = 0,1 \dots 0,2$ für die Planung angenommen, womit meist die Spannungshaltung das Auslegungskriterium ist.

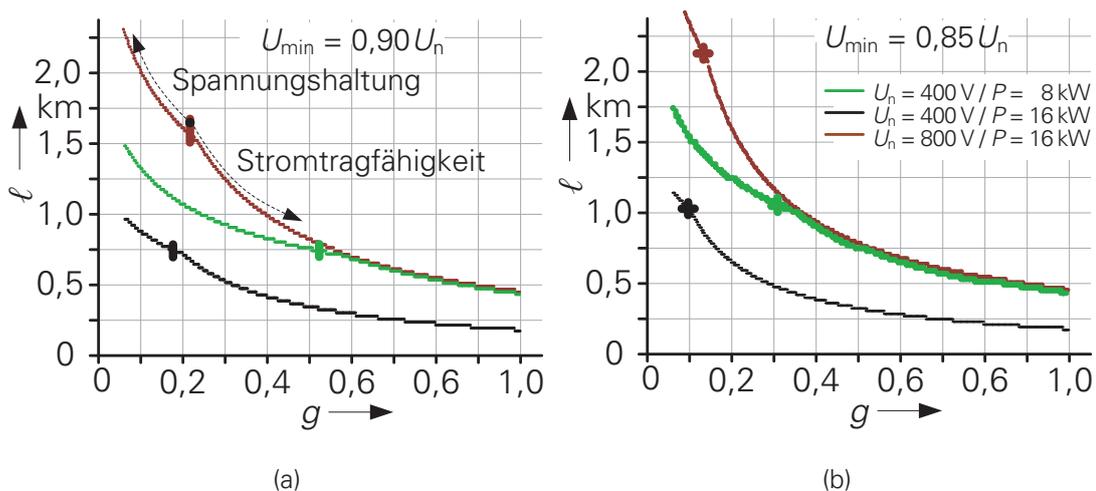


BILD I: MAXIMALE LÄNGE EINES NETZSTRAHLS BEI VARIATION VON PARAMETERN

Bei der Lastanstiegsvariante (schwarz) reduziert sich die mögliche Leitungslänge deutlich. Durch die Anhebung der Nennspannung auf 800 V (braun) kann dies ausgeglichen werden.

Es ist festzuhalten, dass Erhöhungen von Gleichzeitigkeit, Höchstlast der Haushaltsabnehmer oder der Nennspannung dazu führen, dass nicht mehr die Spannungshaltung, sondern die Stromtragfähigkeit der Kabel das signifikante Auslegungskriterium ist.

Da NS-Kabel eine Bemessungsspannung von 1 kV haben, ist eine Erhöhung der Nennspannung auf 800 V durchaus möglich. Es ist zu untersuchen, ob die erforderlichen Investitionen beim Endabnehmer die vermiedenen Investitionen, insbesondere beim Tiefbau für die Kabellegung, rechtfertigen.



Max Domagk, Dipl.-Ing.

Einfluss verschiedener Aggregierungsintervalle auf die Bewertung der Spannungsqualität nach EN 50160

Die Merkmale der Spannung am Netzanschlusspunkt öffentlicher Elektrizitätsversorgungsnetze werden in der EN 50160 beschrieben, welche zu den wichtigsten Standards der Spannungsqualität in Europa zählt [1]. Die Spannungsqualität wird durch eine Vielzahl von Qualitätskenngrößen charakterisiert. Diese lassen sich in verlaufsorientierte Kenngrößen (z. B. Harmonische oder Flicker) und ereignisorientierte Kenngrößen (z. B. Spannungseinbrüche oder -unterbrechungen) einteilen. Für die Bewertung der meisten verlaufsorientierten Kenngrößen wird das 95-%-Quantil der 10-Minuten-Mittelwerte einer Woche verwendet. Die Berechnungsschritte sind in Bild I am Beispiel der Unsymmetrie (UNB) zu sehen.

Die Berechnung basiert im Wesentlichen auf vier Parametern: dem Aggregierungsintervall, der Aggregierungsmethode, dem Beobachtungsintervall und dem Bewertungsquantil. Werden die Berechnungsparameter verändert, hat dies Einfluss auf die Bewertung der Spannungsqualität. Im Rahmen der Diskussionen bei CENELEC wurde eine Verkleinerung des Aggregierungsintervalls vorgeschlagen.

Mit Hilfe umfassender Messdaten wurde quantifiziert, wie groß der Einfluss verschiedener Aggregierungsintervalle (1 Minute oder 30 Minuten statt 10 Minuten), Aggregierungsmethoden (Maximalwerte statt Mittelwerte) und Bewertungsquantile (99 % statt 95 %) auf die Bewertung nach EN 50160 ist [2]. Die verwendete Datenbasis umfasst Messungen der Elektroenergiequalität, die in Zusammenarbeit mit zwei Verteilnetzbetreibern innerhalb der letzten drei Jahre durchgeführt wurden. Insgesamt wurden 19 Messungen in 14 verschiedenen Niederspannungsnetzen mit einer Gesamtmessdauer von 1037 Wochen ausgewählt. Dabei wurden sowohl ländliche als auch städtische Netze und unterschiedliche Abnehmerstrukturen (z. B. Bürogebäude, Wohngebiete und Gewerbe) berücksichtigt.

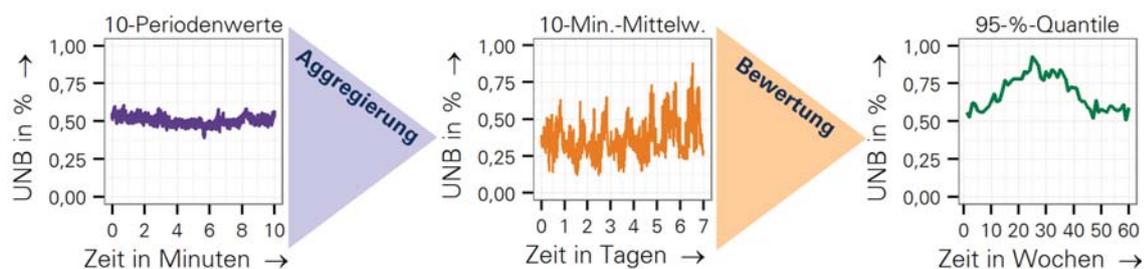


BILD I: BERECHNUNGSSCHRITTE FÜR DIE BEWERTUNG NACH EN 50160 VON VERLAUSORIENTIERTEN SPANNUNGSQUALITÄTSKENNGRÖSSEN AM BEISPIEL DER UNSYMMETRIE (UNB)

Das 95%-Quantil der 10-Minuten-Mittelwerte ist das Referenzquantil und wird für jede Woche der untersuchten Spannungsqualitätskenngröße berechnet. Die absolute Differenz zwischen dem Referenzquantil und einem Quantil mit einem veränderten Berechnungsparameter wird verwendet um den Einfluss auf die Bewertung zu quantifizieren.

Beispielhaft wird der Einfluss des Aggregierungsintervalls in Bild II gezeigt. Die absoluten Differenzen für Aggregierungsintervalle mit 1 Minute und 30 Minuten gegenüber 10 Minuten sind für sämtliche Messwochen als kumulierte Häufigkeit für die Unsymmetrie in Bild IIa und für den Effektivwert in Bild IIb zu sehen. Durch die Verwendung eines der beiden Intervalle weichen die 95%-Quantile für die Unsymmetrie weniger als $\pm 0,1\%$ von den Referenzquantilen nach EN 50160 ab. Der Spannungseffektivwert, welcher als prozentuale Abweichung von der Nennspannung angegeben ist, zeigt absolute Differenzen gegenüber den Referenzquantilen von maximal $\pm 0,3\%$. Die Untersuchungen weiterer Spannungsqualitätskenngrößen (Gesamtoberschwingungsgehalt und Harmonische der Ordnung 3, 5 und 7) zeigen vergleichbare Ergebnisse.

Durch die Anwendung verschiedener Berechnungsparameter lassen sich für die verwendete Datenbasis keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den in der EN 50160 genutzten Parametern feststellen. Auf Basis dieser Untersuchung ergibt sich keine Notwendigkeit das Aggregierungsintervall zu verkleinern.

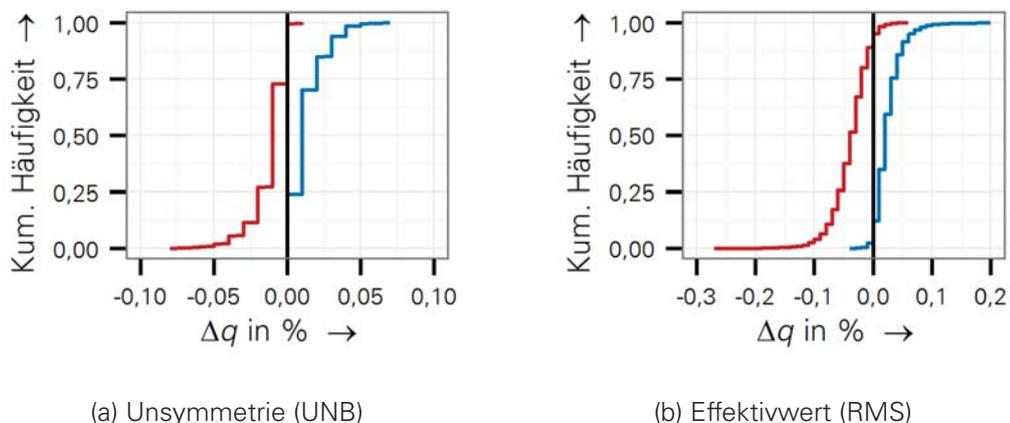
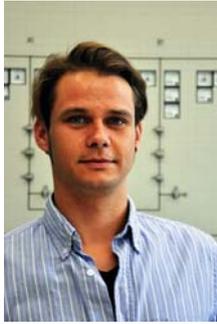


BILD II: KUMULIERTE HÄUFIGKEITEN DER ABSOLUTEN DIFFERENZEN FÜR DIE 95%-QUANTILE DER 30-MINUTEN- (ROT) UND 1-MINUTEN-MITTELWERTE (BLAU), REFERENZ: 95%-QUANTILE DER 10-MINUTEN-MITTELWERTE, UMFANG: 1037 MESSWOCHE

- [1] EN 50160: *Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*. 3. Auflage 2010.
- [2] M. Domagk, J. Meyer, P. Schegner, et. al.: *Influence of aggregation intervals on power quality assessment according to EN 50160*. CIGRE 22nd International Conference on Electricity Distribution, paper 1174, Stockholm, 10-13 June 2013



Niels Erdmann, Dipl.-Ing.

**Technologische Bewertung von
Energieübertragungssystemen zur verstärkten
Nutzung regenerativer Energieträger**

Die deutsche Bundesregierung formulierte in ihrem Energiekonzept eine Gesamtstrategie, die den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien beschreibt. Es ist eine zentrale Zielsetzung, den Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2050 auf 80 % zu erhöhen.

Damit ist die Integration von dargebotsabhängigen und somit fluktuierend einspeisenden Energieanlagen wie z. B. Photovoltaik- und Windkraftwerken verbunden. Weiterhin sind die Energieanlagen in höheren Leistungsklassen meist verbraucherfern. So muss der Strom der Offshore-Windenergieanlagen in Nord- und Ostsee in die Verbraucherzentren in West- und Süddeutschland transportiert werden. Noch größere Entfernungen wären bei Solarprojekten in Südeuropa oder Nordafrika zu überbrücken, um den Strom in Deutschland nutzen zu können. In der dena-Netzstudie II wird für Deutschland im Basis-szenario ein Zubau von Hochspannungstrassen mit einer Gesamtlänge von 3600 km prognostiziert.



BILD I: HOLISTISCHER ANSATZ DER BEWERTUNG

Als Übertragungstechnologien eignen sich Freileitungssysteme, die mit Drehstrom oder Gleichstrom in der Höchstspannungsebene betrieben werden. Besonders nachteilig, da weithin sichtbar, sind die hierbei notwendigen Freileitungsmasten. Unter Hinnahme einer deutlich höheren Betriebskapazität und Installation mehrerer Systeme, kann die Kabeltechnologie zum Energietransport verwendet werden. Diese Technologie erhöht zwar die gesellschaftliche Akzeptanz für den Netzausbau, ist aber um ein vielfaches teurer als die Freileitungssysteme. Eine weitere Möglichkeit bietet die gasisolierte Leitung (GIL). Auch die GIL wird unterirdisch verlegt, kann allerdings im Gegensatz zum Kabel eine ähnlich hohe Leistung wie die Freileitung transportieren. Problematisch ist jedoch das verwendete Isoliergas, welches anteilig aus dem stärksten bekannten Treibhausgas Schwefelhexafluorid (SF₆)

besteht. Tabelle I zeigt eine kurze Gegenüberstellung der genannten Übertragungstechnologien.

Um eine umfassende Beurteilung geben zu können, bedarf es eines holistischen Ansatzes, wodurch Bewertungen unterschiedlicher Disziplinen verknüpft werden.

Bild I zeigt die zu betrachtenden Kategorien und deren gegenseitige Abhängigkeiten. Alle Kategorien mit den dazugehörigen Kennwerten werden in einem Bewertungsalgorithmus verknüpft. Mit den Kennwerten der verfügbaren Energieübertragungssysteme und des gewählten Trassenverlaufs können unterschiedliche elektrische Transportoptionen verglichen werden. Im Mittelpunkt der Bewertung steht die technische Leistungsfähigkeit. Sie berücksichtigt u. a. die thermische Grenzleistung, die geforderte Übertragungsreserve, den zulässigen Leitungswinkel und die anfallende Verlustleistung. Neben den Kosten durch die Verlustleistung, wirken sich auf die Wirtschaftlichkeit auch die Installationskosten aus. Sie sind nicht nur abhängig von der verwendeten Technologie und der bisherigen Landnutzung der Trasse, sondern auch von Verzögerungen, die sich im Laufe des Genehmigungsverfahrens ergeben können. Eine Ursache für diesen zeitlichen Verzug ist oftmals mangelnde Akzeptanz des Bauvorhabens bei der ansässigen Bevölkerung. So sind am Beispiel der Freileitung die vermuteten Gesundheitsgefahren durch das vorhandene elektromagnetische Feld, die mögliche Lärmbelastung und auch der Wertverlust der näheren Immobilien Gründe für eine mangelnde Akzeptanz der Bürger vor Ort. Wie bereits erwähnt, werden erdverlegten Systemen bessere Akzeptanzwerte zugeschrieben, jedoch sind sie deutlich teurer.

Alle genannten Aspekte und weitere fließen in den Bewertungsalgorithmus ein.

Das verfolgte Ziel ist die ganzheitliche technologische Bewertung von Energieübertragungssystemen zur verstärkten Nutzung regenerativer Energieträger.

TABELLE I: GEGENÜBERSTELLUNG ELEKTRISCHER ENERGIEÜBERTRAGUNGSSYSTEME

	Freileitung	Kabel	GIL
Erfahrungswerte	50 Jahre	begrenzt	fast keine
Installationskosten	1	4... 16	10... 12
Lebensdauer in Jahren	80... 100	20... 40	unbekannt
Verfügbarkeit	>99,8%	>93%	unbekannt
Mittlere Ausfalldauer	Stunden bis wenige Tage	Wochen bis Monate	Wochen bis Monate

[1] Deutsche Energieagentur, *Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015–2020 mit Ausblick 2025*, Berlin 2010.



Etienne Gasch, Dipl.-Ing.

Intuitive Darstellung von EEQ Messdaten im Geoinformationssystem

Messkampagnen und Dauermessungen im Elektroenergieversorgungsnetz erzeugen große Datenmengen. Eine übersichtliche Auswertung der Daten gestaltet sich zumeist schwierig und stellt auch heute noch eine Herausforderung dar. Für die Auswertung der Spannungsqualität gemäß aktueller Normen werden üblicherweise alle 10 Minuten folgende Kenngrößen erfasst: Spannungseffektivwert, Gesamtverzerrungsfaktor THD, 24 Oberschwingungspegel und Flicker für alle 3 Phasen, sowie Unsymmetrie und Frequenz. Dies ergibt insgesamt 83 Messwerte und würde bspw. bei 100 Messorten über ein Jahr mehr als 400 Mio. Einzelwerte bedeuten. Die normgerechte Bewertung basiert auf einer wochenweisen Auswertung, was immer noch ca. eine halbe Million Werte bedeuten würde. Tabellarische oder grafische Darstellungen sind für eine effektive Auswertung deshalb nur bedingt geeignet.

Eine mögliche Grundlage für eine effiziente Datenauswertung stellt das am Lehrstuhl entwickelte Qualitätsindexsystem dar [1]. Als Grundlage für die geeignete Zusammenfassung werden die Messwerte auf einen vorgegebenen Grenzwert (z. B. nach EN 50160) normiert. Im Ergebnis entstehen 83 Einzelindizes je Woche und Messort, welche die prozentuale Reserve zum vorgegebenen Grenzwert darstellen und untereinander vergleichbar sind. Diese können dann auf verschiedene Weise und in mehreren Stufen aggregiert werden. Durch das Zusammenfassen aller Messgrößen an einem Messort erhält man je Woche einen Messortindex. Durch weiteres Zusammenfassen mehrerer Messortindizes erhält man einen Netzgebietsindex, welcher bspw. die Spannungsqualität in einem bestimmten Netzgebiet charakterisiert usw. Die obere Stufe der Aggregation stellt unabhängig von der Anzahl an Messdaten immer ein einzelner Index, der sogenannte Netzindex dar. Dieser bedeutet, dass für alle Messorte und Wochen eines Messprogrammes alle betrachteten Spannungsqualitätsparameter mindestens die angegebene oder eine größere Qualitätsreserve hatten.

Für die Darstellung der verschieden stark aggregierten Indizes wurde ein Geoinformationssystem (GIS) gewählt. Dies hat den Vorteil gegenüber einer tabellarischen Auflistung, dass zu jedem Messort- oder Netzgebietsindex ein geografischer Bezug hergestellt werden kann. Der Benutzer kann die regionale Verteilung der Spannungsqualität besser bewerten und sieht sofort, ob in einer Region eine bestimmte Qualitätskenngröße (z. B. Flicker) besonders häufig für eine geringe Qualitätsreserve verantwortlich ist.

Die Darstellung der Indizes am Computer erfolgt interaktiv. Wie bei etablierten Kartendiensten im Internet entscheidet die Zoomstufe, ob ein Netzge-

bietsindex (kleine Zoomstufe) oder ein Messortindex bzw. ein Netzgebietsindex einer untergeordneten Region (größere Zoomstufe) angezeigt wird. Durch das Anklicken eines Messortindizes in der größten Zoomstufe wird dann in eine andere Darstellungsform gewechselt, welche die Indizes für die einzelne Qualitätskenngrößen darstellt.

Bild I und Bild II zeigen beispielhaft die Möglichkeiten dieser geografischen Darstellung. Es werden der jeweilige Qualitätsindex sowie die dazugehörige Kenngröße mit der geringsten Reserve in der Karte eingblendet (farbiges Dreieck). Im Bild I sind das der Gesamtüberschwingungsgehalt mit einer Reserve von 54 % (links) und die Langzeitflickerstärke mit einer Reserve von 20 % (rechts). Die farbliche Unterlegung der Indizes stellt noch einmal die Reserve in Klassen dar. Bspw. werden Reserven über 50 % grün dargestellt. Bei Überschreitung des Grenzwertes wird ein roter Hintergrund gewählt. Die Trendentwicklung der Indizes über längere Zeiträume (z. B. Monate) wird als Pfeil neben dem Index angezeigt. Durch Hineinzoomen fächert sich der rechte Netzgebietsindex auf, und es werden 3 einzelne Messortindizes dargestellt (Bild II). Die Darstellung der EEQ in einem GIS erlaubt es auch, dass einzelne Kenngrößen bei der Berechnung des Messortindex nicht beachtet werden. Entsprechend sind diese Kenngrößen in allen weiteren Aggregierungsstufen bis hin zum Netzindex nicht enthalten.



BILD I: NETZGEBIETSINDEX

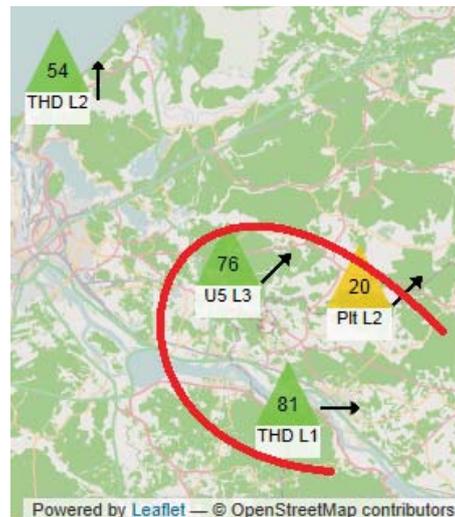


BILD II: MESSORTINDIZES

- [1] Gordon, José M. R.; Meyer J. ; Schegner P: *Design Aspects for large PQ Monitoring Systems in future Smart Grids*; Proceedings of 2011 IEEE PES General Meeting, Detroit, MI, July 2011



Tobias Heß, Dipl.-Ing.

**Effiziente Planungs- und Steuerungsalgorithmen
für das RVK**

Ziel des Regionalen Virtuellen Kraftwerks (RVK) ist die systemgerechte Einbindung von Erzeuger- und Verbrauchereinheiten insbesondere μ KWK-Anlagen. Hierbei werden die Anlagen innerhalb eines regionalen Bilanzkreises, zum Beispiel eines Niederspannungsnetzes, kommunikationstechnisch vernetzt und durch ein übergeordnetes Regelregime gezielt angesteuert. Dabei wird ein hierarchischer Ansatz verfolgt, der es ermöglicht, eine große Anzahl von Anlagen effizient zu steuern. Das Steuerungskonzept des RVKs setzt sich aus 3 Ebenen zusammen, die das Gebäude mit μ KWK-Anlage und thermischem Speicher (Ebene 0), das elektrische Netz (Ebene 1) und das RVK-System (Ebene 2) beschreiben [1].

Ein erster wesentlicher Arbeitsschritt war die Entwicklung und Erprobung der Schnittstellen sowie der Planungs- und Steuerungsalgorithmen für das RVK. Dafür wurde ein vereinfachtes und lineares Modell des RVKs in Matlab implementiert. Der objektorientierte Ansatz ermöglicht eine agile Entwicklung. Dabei beschreibt jeweils eine Klasse eine Ebene des RVKs und definiert alle Eigenschaften und Methoden der Ebene.

Mit Hilfe des Simulationsmodells wurden folgende notwendigen Schnittstellen ermittelt:

- Planungskennwerte (Ebene 0 über Ebene 1 nach Ebene 2) :
 - maximale elektrische Leistung: $P_{el\ max}(t)$
 - mögliche Energieproduktion: $W_{el\ min}(t); W_{el\ max}(t)$
 - notwendige Anzahl der Betriebszeiten: $N_{betrieb}(t)$
- Betriebskennwerte (Ebene 2 über Ebene 1 nach Ebene 0):
 - Sollwert elektrische Leistung; $P_{el\ soll}(t)$

Mit diesen Schnittstellen wird die Kommunikation zwischen den Ebenen vereinheitlicht und alle lokalen Nebenbedingungen der Ebenen beachtet. Dies vereinfacht die Optimierung auf der System-Ebene.

Die Planungsalgorithmen bestehen im wesentlichen aus zwei Teilen. Zum ersten wird aus den übermittelten Planungskennwerten ein Fahrplan für das gesamte RVK erstellt. Im zweiten Teil wird dieser auf die einzelnen Ebenen verteilt. Die Verteilung des Fahrplans auf die einzelnen μ KWK-Anlagen erfolgt hierarchisch über die Ebenen. Dabei verteilt jede Ebene ihren Fahrplan mit Hilfe einer Heuristik auf die ihr zugeordneten Subebenen.

Die Abbildung I zeigt beispielhaft die Planungskennwerte und Fahrpläne für je eine Ebene eines RVKs mit 100 Anlagen und einer Gesamtleistung von 400 kW. Abbildung I(a) stellt einen beispielhaften Verlauf des Day-Ahead

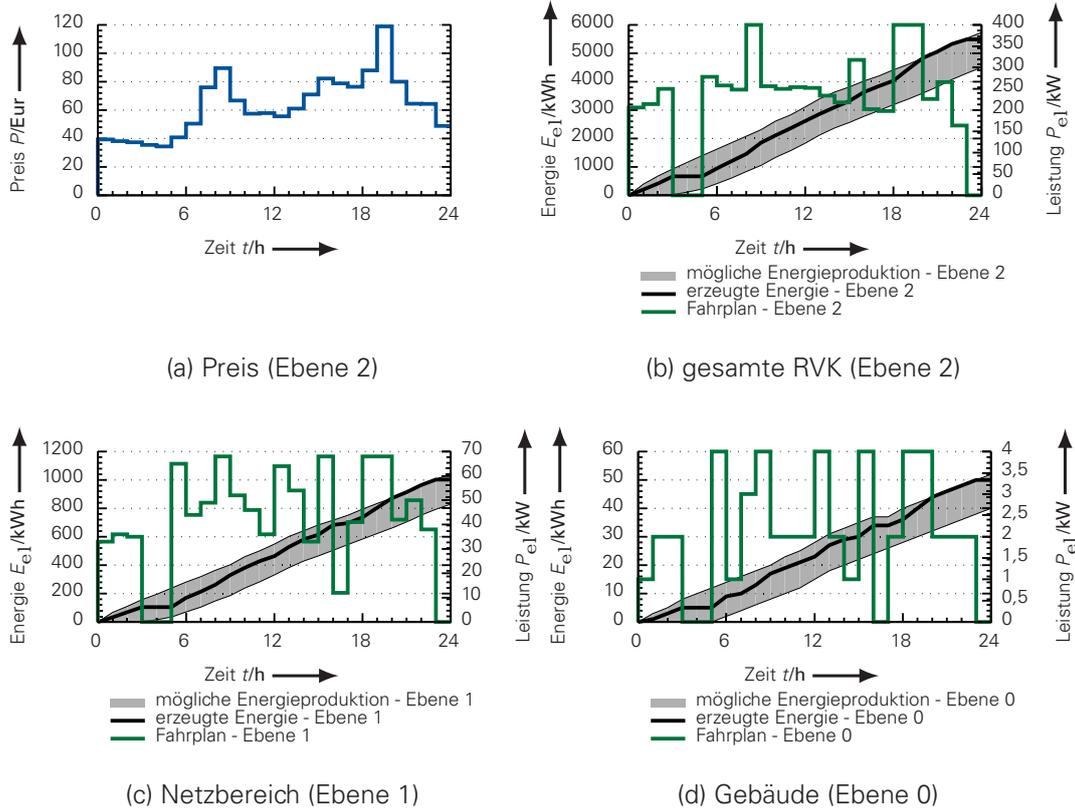


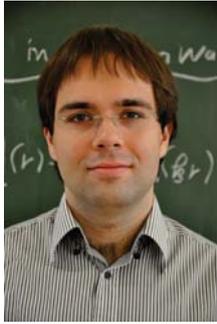
BILD I: BEISPIEL FAHRPLÄNE

Preises der EPEX-Spot dar. Dieser Preis ist die Grundlage der Fahrplanerstellung für das RVK. Der Algorithmus maximiert innerhalb der in Abbildung I(b) dargestellten möglichen Energieproduktion den Erlös aus dem produzierten Strom. Damit ergibt sich der dargestellte Fahrplan. Abschließend wird der Fahrplan unter Beachtung der möglichen Energieproduktion der einzelnen Ebenen auf diese verteilt. Damit wird stets gewährleistet, dass die lokalen Nebenbedingungen eingehalten werden (siehe Abbildung I(c) und (d)).

Im nächsten Schritt des Forschungsvorhabens wird das Simulationsmodell durch Unsicherheiten der Prognose sowie nicht lineare Zusammenhänge ergänzt. Dies erfordert möglicherweise Anpassungen an die Planungsalgorithmen und die Entwicklung der weiteren Betriebsalgorithmen. Im Focus des dritten Schrittes steht dann die Erprobung und Weiterentwicklung der Algorithmen mit Hilfe eines detaillierten thermischen Modells der Gebäude sowie deren Anlagen in TRANSYS-TUD¹. Abschließend werden die Algorithmen auf dem RVK-Gateway umgesetzt und in einem Feldtest erprobt.

[1] T. Heß, P. Schegner, J. Seifert, J. Werner, *Regionale Virtuelle Kraftwerke - Aufbau und Chancen*. In: Kraftwerktechnisches Kolloquium 2012. Dresden, 2012

¹umfassend überarbeitet und erweiterte Programmversion von TRANSYS (Transient System Simulation Program)



Christian Jäschke, M.Sc.

Modellierung magnetischer Störeinkopplungen in Hochstromwandlern

Zur Erfassung hoher Ströme in Energieversorgungsnetzen werden üblicherweise induktive Stromwandler eingesetzt. Das Übertragungsverhalten dieser wird dabei von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Magnetische Felder, die von benachbarten Leitern ausgehen, können beispielsweise in den Kern des Stromwandlers einkoppeln und das eigentliche Messsignal stören. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass dies vor allem bei Wandlern auftritt, die zur Messung sehr hoher Ströme (z. B. bei Generatorabgängen) konstruiert sind. Dies kann dadurch begründet werden, dass solche Stromwandler in der Regel in Umgebungen eingesetzt werden, in denen hohe magnetische Störfelder auftreten, die durch die hohen Stromstärken in benachbarten Leitern entstehen. Außerdem haben Hochstromwandler im Allgemeinen eine hohe sekundärseitige Windungszahl, wodurch die Einkopplung von Störungen begünstigt wird.

Um die magnetischen Störeinkopplungen beschreiben zu können und dadurch entsprechende Gegenmaßnahmen abzuleiten, wurde ein elektrotechnisches Modell erstellt.

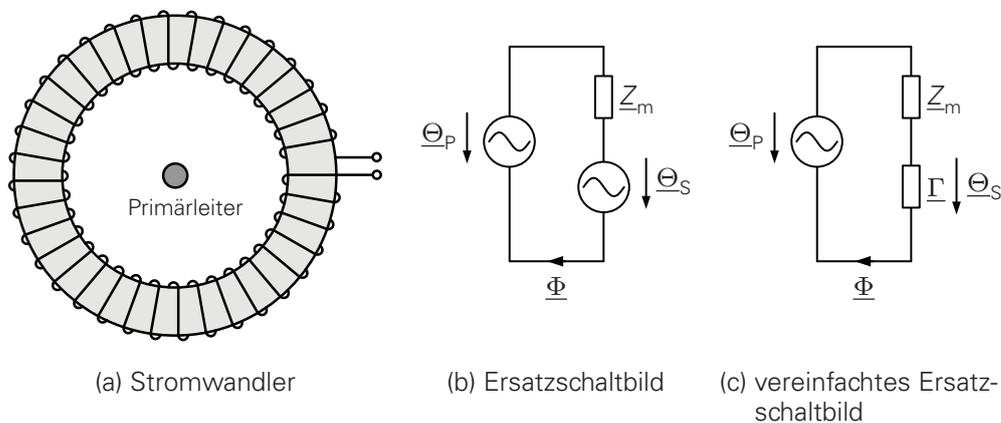


BILD I: MODELL EINES UNBEEINFLUSSTEN STROMWANDLERS

Betrachtet man einen Hochstromwandler, der im Bild 1a schematisch dargestellt ist, so lassen sich dessen magnetische Größen im Kern bekanntermaßen durch ein magnetisches Ersatzschaltbild (siehe Bild 1b) beschreiben. Die magnetischen Spannungsquellen $\underline{\Theta}_P$ und $\underline{\Theta}_S$ sind dabei mit dem Primärstrom bzw. dem Sekundärstrom des Wandlers verknüpft. Der anregende Primärstrom des Wandlers kann dabei als konstante Größe angenommen werden, währenddessen der Sekundärstrom von der angeschlossenen Bürde beeinflusst wird. Um dieses Verhalten einfacher beschreiben zu können,

lässt sich der Einfluss der Bürde durch einen virtuellen magnetischen Widerstand $\underline{\Gamma}$ abbilden, dessen Wert sich aus der Bürdenimpedanz \underline{Z}_B berechnen lässt. Mit Hilfe des Ersatzschaltbildes (Bild 1c) lässt sich das Übertragungsverhalten des Stromwandlers im unbeeinflussten Zustand beschreiben.

Befindet sich ein stromdurchflossener Leiter in der näheren Umgebung des Stromwandlers, so koppelt dessen magnetisches Feld in den Kern des Wandlers ein. Um diese Einkopplung durch ein magnetisches Ersatzschaltbild beschreiben zu können, kann der Stromwandler in eine endliche Zahl von Segmenten eingeteilt werden. Im Bild 11a ist dies beispielhaft mit vier Segmenten dargestellt. Um diese Einteilung im magnetischen Ersatzschaltbild darzustellen, muss auch der magnetische Widerstand des Stromwandlerkerns \underline{Z}_m und der virtuelle magnetische Widerstand der Bürde $\underline{\Gamma}$ auf die einzelnen Segmente aufgeteilt werden. Zusätzlich dazu müssen gesteuerte magnetische Spannungsquellen (\underline{V}_{K1-4}) eingeführt werden, die berücksichtigen, dass alle Segmente durch eine gemeinsame Sekundärwicklung verbunden sind, durch die ein segmentunabhängiger Strom fließt.

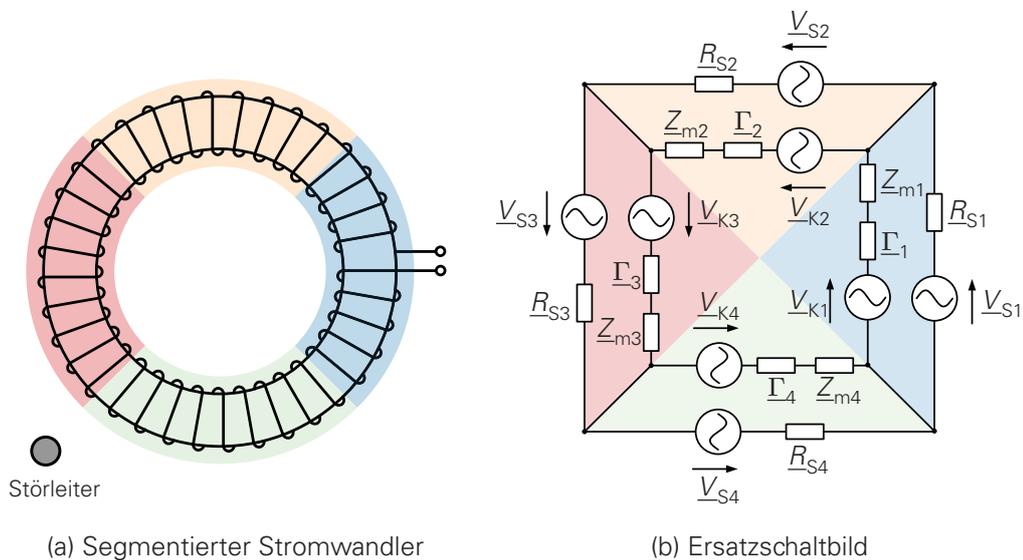


BILD II: MODELL DER STÖREINKOPPLUNG IN DEN STROMWANDLER

Die Einkopplung der magnetischen Störfelder lässt sich durch Einführen magnetischer Störquellen (\underline{V}_{S1-4}) und magnetischer Kopplungswiderstände (R_{mS1-2}) beschreiben. Die Größe der magnetischen Spannungen der Quellen wird dabei von der Stromstärke in den Störleitern vorgegeben. Die magnetischen Kopplungswiderstände bilden die Stärke der magnetischen Einkopplungen in den Kern ab und werden von der Geometrie und Lage des Störleiters bestimmt.

Die Werte der Modellparameter \underline{Z}_{m1-4} , $\underline{\Gamma}_{m1-4}$ und \underline{V}_{K1-4} lassen sich anhand der Kernparameter und der Bürdenimpedanz rechnerisch bestimmen. Die Werte der magnetischen Spannungsquellen \underline{V}_{S1-4} ergeben sich aus der Stromstärke im Störleiter. Zur Ermittlung der Kopplungswiderstände R_{mS1-2} müssen noch numerische Feldberechnungen mit Hilfe von FEM-Berechnungsprogrammen bei repräsentativen Störleiteranordnungen durchgeführt werden.



Matthias Klatt, Dipl.-Ing.

Höherfrequente Pegel in öffentlichen Niederspannungsnetzen

Die Anzahl der Photovoltaikanlagen (PVA) in Deutschland nimmt seit Jahren stetig zu und ihre installierte Leistung hat 30 GW inzwischen überschritten. Ein Großteil dieser Anlagen ist an das öffentliche Niederspannungsnetz angeschlossen. Moderne Wechselrichter verwenden die Technik der Puls-Weiten-Modulation (PWM) um den Gleichstrom der Solarmodule in einen Wechselstrom zu wandeln, der in das Netz eingespeist werden kann. Die Leistungselektronik im Wechselrichter wird dazu mit einer Schaltfrequenz zwischen 15 kHz und 20 kHz betrieben. Dieses Verfahren verursacht erhöhte Spannungspegel um diese Frequenz und deren ganzzahligen Vielfachen im Netz. Diese können benachbarte Geräte direkt beeinflussen [1].

Im Moment werden bei der IEC geeignete Verträglichkeitspegel im Frequenzbereich von 2 kHz bis 150 kHz erarbeitet und diskutiert. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen einer Untersuchung am IEEH in Zusammenarbeit mit drei Netzbetreibern Messungen in öffentlichen Niederspannungsnetzen durchgeführt, um Erkenntnisse über die Entstehung und Ausbreitung der höherfrequenten Emissionen zu erhalten. Die Ergebnisse aus den bisher durchgeführten Messungen wurden in [2] veröffentlicht.

Bild 1 zeigt das gemessene Spektrum der Spannung am Anschlusspunkt einer PVA bis 40 kHz im Verlauf eines sonnigen Tages.

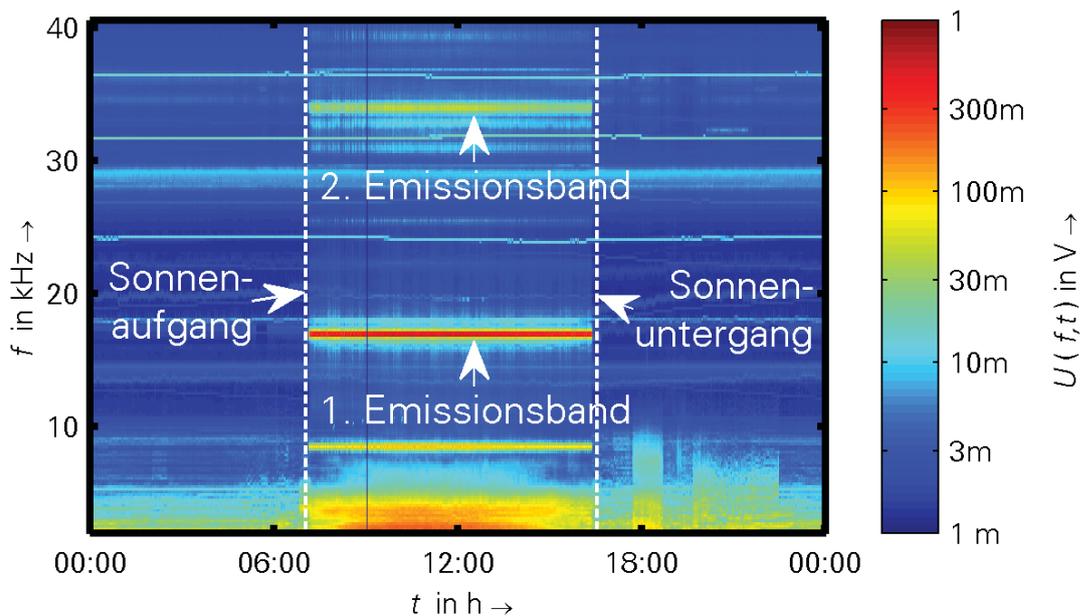


BILD 1: TAGESVERLAUF DES SPEKTRUMS BIS 40 KHZ AM ANSCHLUSSPUNKT EINER PV-ANLAGE

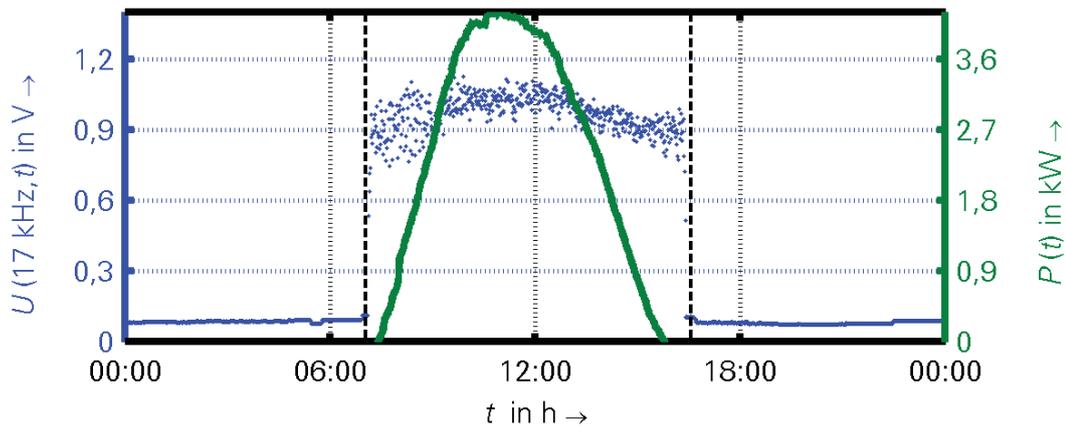


BILD II: TAGESVERLAUF DER ABGEBEBENEN WIRKLEISTUNG EINES WECHSELRICHTERS UND DER HÖHERFREQUENTEN SPANNUNGSPEGEL UM 17 KHZ AM ANSCHLUSSPUNKT EINER PV-ANLAGE

Zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang existieren bei 17 kHz und 34 kHz schmalbandige und relativ konstante Erhöhungen des Spannungspiegels. Diese charakteristischen Merkmale sind bei allen Netzen mit PV ähnlich.

Die Analyse aller durchgeführten Messungen hat gezeigt, dass in Netzen ohne PV die 95%-Quantile der Spannungspegel im Frequenzbereich oberhalb 5 kHz in der Regel unter 100 mV liegen. In Netzen mit PV können diese Werte tagsüber bis zu 1 V erreichen. Nachts sind die Pegel in Netzen mit und ohne PV vergleichbar niedrig.

Über die Einflussgrößen und Wirkungsmechanismen in diesem Frequenzbereich ist noch wenig bekannt. In Bild II sind die höherfrequenten Spannungspegel um 17 kHz und die abgegebenen Leistungen je Leiter der Wechselrichter am Messort dargestellt. Es lässt sich kein direkter Zusammenhang dazwischen feststellen. Während die Leistung der Anlage direkt der Globalbestrahlungsstärke folgt, sind die höherfrequenten Spannungen tagsüber praktisch unabhängig vom Sonnenstand. Es ist jedoch der deutliche Sprung bei Sonnenauf- und Sonnenuntergang erkennbar. Es wird vermutet, dass unter anderem die umgebenden Lasten und die Netzimpedanz am Anschlusspunkt einen Einfluss auf die Höhe der Pegel haben.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen unterstützen die Arbeit der betreffenden Normungsgremien. Unter anderem können hieraus in Zukunft technisch angemessene Verträglichkeitspegel für den Frequenzbereich 2 kHz bis 150 kHz abgeleitet werden.

- [1] J. Meyer, S. Haehle, P. Schegner: *Impact of higher frequency emission on electronic mass-market equipment*, CIGRE 22nd International Conference on Electricity Distribution, Paper 999, Stockholm, 10.-13. Juni 2013
- [2] M. Klatt, J. Meyer, P. Schegner et al.: *Emission levels above 2 kHz - Laboratory results and survey measurements in public low voltage grids*, CIGRE 22nd International Conference on Electricity Distribution, Paper 1168, Stockholm, 10.-13. Juni 2013



Marcus Kreuziger, Dipl.-Ing.

**Blindleistungsbedarf und Potentiale zur
Blindleistungsbereitstellung**

In Netzentwicklungsplänen und Potentialstudien werden Szenarien des Ausbaus regenerativer Erzeugungsanlagen, in Abhängigkeit verschiedenster Standortfaktoren, in den Verteilnetzen beschrieben und regional zugeordnet. Dieser Zubau in den Verteilnetzen führt perspektivisch zu einer Reduzierung verfügbarer konventioneller Kraftwerksleistung im Übertragungsnetz, was in einer Neuverteilung bei der Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie der Blindleistung resultieren wird. Hierdurch ergibt sich die Forderung nach einer Beteiligung der regenerativen Erzeugungsanlagen am Blindleistungsmanagement.

Aus diesem Grund wurde der regional variierende Blindleistungsbedarf der Übertragungs- und Verteilnetze analysiert und Potentiale für eine Blindleistungsbereitstellung seitens der regenerativen Erzeugungsanlagen im Verteilnetz bestimmt. Im ersten Schritt geschieht dies mittels einfacher Analogiemodelle bzw. vereinfachter Netzanordnungen, um physikalische Zusammenhänge einfach zu beschreiben. Aufbauend hierauf erfolgt die Implementierung und Analyse von realen Übertragungs- und Verteilnetzen im Programmsystem Power Factory von DIgSILENT. Dabei werden verschiedene Szenarien hinsichtlich der Integration regenerativer Erzeugungsanlagen beachtet.

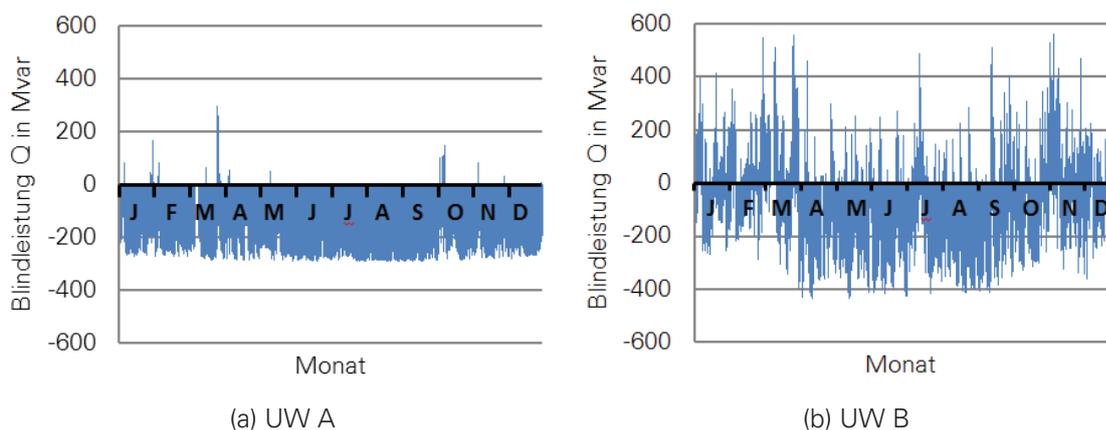


BILD I: JAHRESGANG–BLINDLEISTUNGSBEDARF

Um einen Überblick der aktuellen Blindleistungsverhältnisse im Übertragungsnetz zu erhalten, wurde zunächst der Blindleistungsbedarf aller Leitungen des 380-kV-Netzes auf Basis der Wirkbelastung bestimmt. Datengrundlage bilden hierbei Zeitreihen der Wirkbelastung mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Anschließend wurde der leitungs- und lastspezifische Blindleistungsbedarf einzelnen Verknüpfungspunkten zur 110-kV-

Verteilnetzebene zugeordnet. Die Auswertung zeigt dabei eine grundlegende Tendenz, jedoch treten deutliche lokale Unterschiede auf. In Bild I ist der Jahresverlauf des Blindleistungsbedarfs für zwei ausgewählte Übergabepunkte dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass überwiegend ein kapazitiver Blindleistungsbedarf an den Verknüpfungspunkten vorherrscht. Allerdings treten vereinzelt induktive Blindleistungsspitzen (Bild Ib) in vergleichbaren Höhen auf und müssen somit gedeckt werden.

Für die Bewertung der Potentiale einer Blindleistungsbereitstellung der Verteilnetze wurde zunächst eine vereinfachte Modellanordnung verwendet. Diese beschränkt sich auf die Modellierung der Transformatoren und der Netze durch Ersatzimpedanzen. Es wurde die Bereitstellung von Blindleistung am Verknüpfungspunkt zwischen Transport- und Verteilnetz unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Belastung im Verteilnetz untersucht. Hierbei wurde zudem die reale P/Q-Kennlinie eines Windparks berücksichtigt.

Als Ergebnis dieser vereinfachten Untersuchung kann festgehalten werden, dass bei einer Umsetzung der Zubaupläne von regenerativen Energieerzeugungsanlagen im Verteilnetz, ein Großteil des Blindleistungsbedarfes je Übergabepunkt im Übertragungsnetz gedeckt werden kann.

Um jedoch belastbare Aussagen zu ermöglichen, müssen neben den spezifischen 110-kV- und 380-kV-Netzkonfigurationen auch das zeitliche Verhalten des Blindleistungsbedarfes an den Anschlussstellen zum Übertragungsnetz und die zeitgenaue Bereitstellung durch die regenerativen Erzeugungsanlagen untersucht werden. Hierzu werden weiterführende, umfangreiche Analysen an den realen Netzstrukturen durchgeführt. Dies umfasst die Implementierung realer Zubau-Szenarien, umfangreicher Zeitreihen (Wind, Sonne, Lasten) und die Anwendung von Optimierungsalgorithmen.

Es können hieraus Anforderungen hinsichtlich Anlagenkonfigurationen und technischen Anforderungen formuliert werden, um eine Bereitstellung von Systemdienstleistung auch bei geringer oder keiner Wirkleistungseinspeisung zu gewährleisten.



Jan Meyer, Dr.-Ing.

Einfluss elektronischer Geräte auf die frequenzabhängige Netzimpedanz im Niederspannungsnetz

Oberschwingungen können den störungsfreien Betrieb des Netzes beeinträchtigen und bspw. durch thermische Zusatzbeanspruchungen die Lebensdauer von elektronischen Geräten negativ beeinflussen. Um verträgliche Pegel der Oberschwingungsspannungen im Netz zu gewährleisten, werden Grenzwerte für die Oberschwingungsstromaussendung von Geräten und Anlagen vorgegeben. Die Berechnung dieser Grenzwerte setzt die Kenntnis der frequenzabhängigen Netzimpedanz voraus, welche in vielen Fällen vereinfacht mit einer linearen Abhängigkeit angenommen wird.

Eine genauere Bestimmung der frequenzabhängigen Netzimpedanz kann mittels Berechnung, Messung oder Simulation erfolgen. Eine Berechnung ist nur dann möglich, wenn das Netzwerk ausschließlich aus passiven Elementen nachgebildet werden kann. Für Messung und Simulation erfolgt die Bestimmung der Impedanz derzeit in den meisten Fällen über eine gesamte Netzperiode oder mehr. Alle Methoden setzen somit eine unveränderliche Netzimpedanz innerhalb einer Netzperiode voraus.

Im Niederspannungsnetz existiert eine große Zahl elektronischer (aktiver) Verbraucher. Ein einfacher Diodengleichrichter mit Glättungskapazität besitzt bspw. je Halbwelle der Netzspannung 2 grundsätzlich unterschiedliche Impedanzzustände. Bei gesperrten Dioden ist die Schaltung hochohmig, bei geöffneten Dioden ist der Glättungskondensator direkt mit dem Netz verbunden. Das Forschungsprojekt untersucht, inwieweit dieser Effekt Einfluss auf die oben genannten Methoden zur Bestimmung der frequenzabhängigen Netzimpedanz haben und welche Konsequenzen sich möglicherweise für die künftige Grenzwertsetzung im Frequenzbereich 2 kHz bis 150 kHz daraus ergeben.

Für die Untersuchung wurde im Labor ein Versuchsstand bestehend aus einer sinusförmigen Quelle (programmierbarer Leistungsverstärker) und einer definierten Netzimpedanz (gemäß IEC 61000-4-7 Anhang B) aufgebaut, an den verschiedene elektronische Geräte angeschlossen wurden. Die Messung der Netzimpedanz am Anschlusspunkt der Geräte erfolgte durch Einprägung von Oberschwingungsströmen variabler Frequenz. Das linke Diagramm in Bild I zeigt das Spektrogramm der Messung ohne elektronisches Gerät (nur Netzimpedanz). Der Verlauf ist zeitinvariant, da die Netzimpedanz ausschließlich aus passiven Bauelementen besteht. Das rechte Diagramm zeigt, dass der Anschluss einer Kompaktleuchtstofflampe (Diodengleichrichtung mit Glättungskapazität) zu zwei deutlich unterschiedlichen Impedanzzuständen innerhalb einer Halbperiode führt. Der Impedanzunterschied steigt mit zunehmender Frequenz.

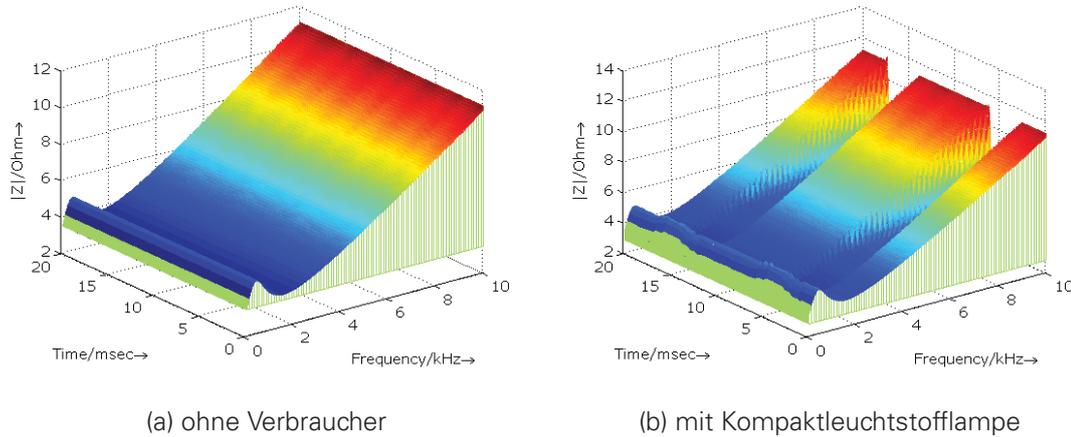


BILD I: ZEITLICHER VERLAUF DER FREQUENZABHÄNGIGEN NETZIMPEDANZ

Um den zeitabhängigen Verlauf der frequenzabhängigen Netzimpedanz genauer zu untersuchen, wird die Impedanz sowohl auf Basis einer Netzperiode, als auch auf Basis der Periode der eingprägten Frequenz bestimmt. Bild II zeigt beide Verläufe beispielhaft für 10 kHz. Die auf Basis einer Netzperiode durchgeführte Bestimmung entspricht keinem der beiden tatschlichen in jeder Halbperiode auftretenden Impedanzzustände.

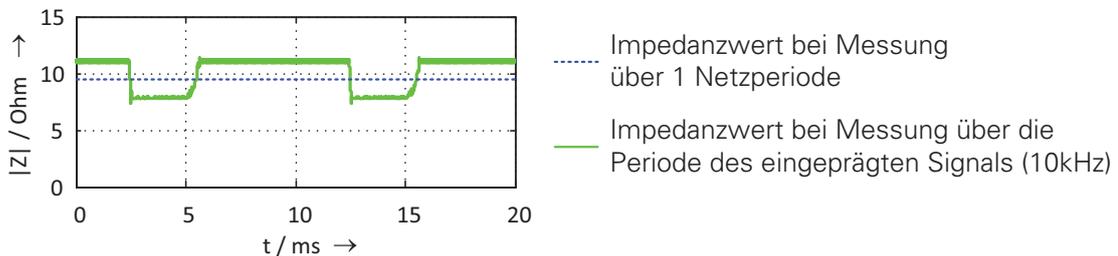


BILD II: ZEITLICHER VERLAUF DES IMPEDANZBETRAGES EINER KOMPAKTLEUCHTSTOFFLAMPE BEI 10 KHZ

Bei niedrigen Frequenzen wird die Netzimpedanz durch das Netz, bei hheren Frequenzen zunehmend durch die angeschlossenen Gerate dominiert. Hherfrequente Emissionen stellen somit eher eine zusätzliche Belastung fr angeschlossene elektronische Gerate dar. Überlegungen zur Auswahl geeigneter Impedanzwerte fr die Festlegung von Grenzwerten und Verfahren zur Messung der Impedanz sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.



Jörg Meyer, Dr.-Ing.

Gegensystemstromregelung von Windturbinen und deren Einfluss auf den Netzschutz

In den aktuellen Netzanschlussrichtlinien in Deutschland werden nur Anforderungen an das Verhalten von Windenergieanlagen (WEA) während eines Netzfehlers bezüglich der Mitsystemgrößen angegeben. Dabei wird gefordert, dass die WEA im Falle eines Netzfehlers einen zusätzlichen Mitsystemblindstrom einspeisen muss. Die Höhe dieses zusätzlichen Mitsystemblindstromes ist abhängig vom Mitsystemspannungseinbruch. Zum Verhalten der Anlagen im Gegensystem gibt es keine Forderung, sodass auch eine komplette Unterdrückung des Gegensystemstromes möglich ist. Zukünftige Netzanschlussbedingungen beinhalten zusätzliche Anforderungen an die Gegensystembeeinflussung. Darin wird bspw. gefordert, dass auch ein Gegensystemblindstrom in Abhängigkeit von der Gegensystemspannungsänderung fließen soll (Bild I).

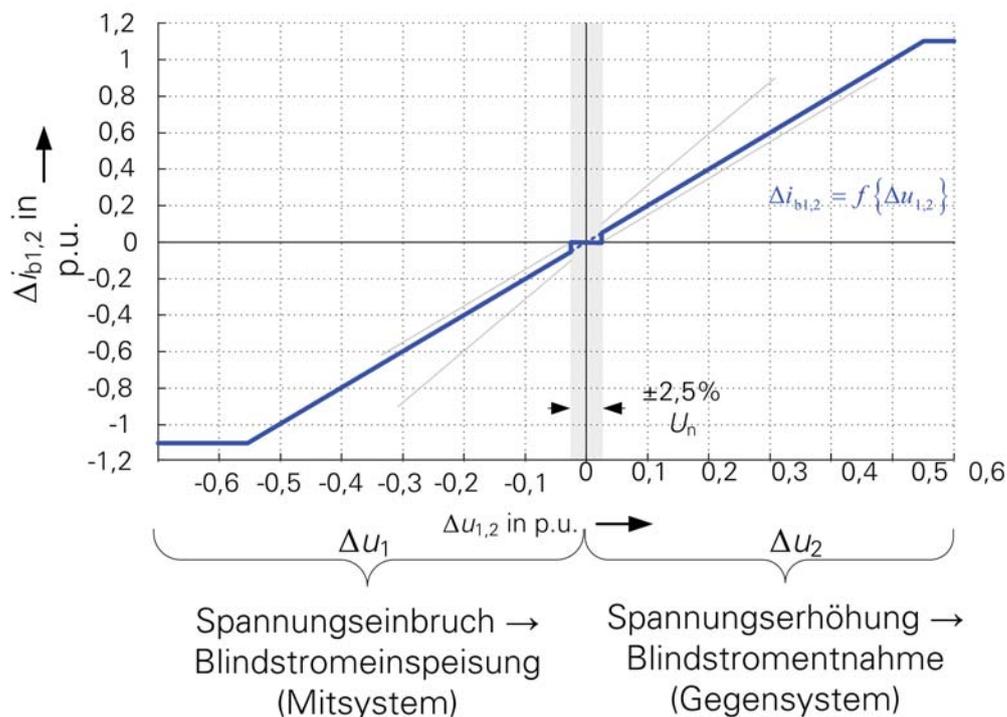


BILD I: VORGABE ZUR BLINDSTROMEINSPEISUNG ZUKÜNFTIGER NETZAN-
SCHLUSSBEDINGUNGEN

Anhand des in Bild II dargestellten Beispielnetzes wurden verschiedene Einspeiseszenarien untersucht. Und dabei der Einfluss auf die Berechnungsergebnisse der eingesetzten Distanzschutzrelais untersucht.

In erster Linie sollte der Einfluss des Gegensystemblindstromes bewertet werden ($I_2 = 0 \text{ A}$, $I_2 = f(U_2)$). Für die Untersuchung wurden u. a. folgende Parameter variiert:

- Gegensystemstromspeisung
- Netzkurzschlussleistung
- Vorfehlerblindstrom
- Anstieg k der Blindstrom-Spannungscharakteristik
- Entfernung zum Fehlerort f

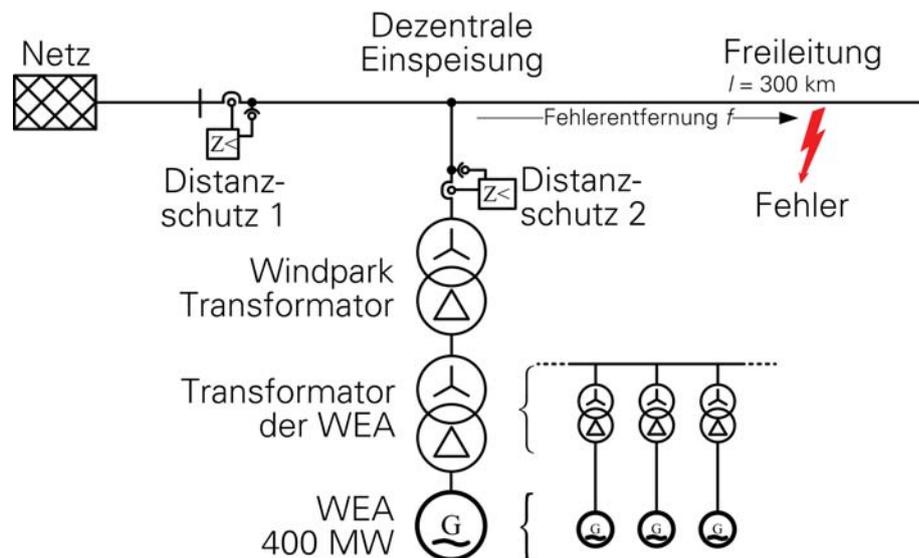


BILD II: BEISPIELNETZ FÜR DIE UNTERSUCHUNG DER AUSWIRKUNGEN DER GEGENSYSTEMSTROMREGELUNG AUF DAS VERHALTEN DES NETZSCHUTZES BEI UNSYMMETRISCHEN FEHLERN

Aus den Untersuchungen konnten folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Effektive Spannungsstützung ist nur durch zusätzliche Blindstromeinspeisung möglich
- Bei unsymmetrischen Fehlern ist eine unsymmetrische Blindstromeinspeisung und damit eine Blindstromaufteilung zwischen Mit- und Gegensystem sinnvoll
- Vollständige Gegensystemstromkompensation verhindert eine effektive Spannungsstützung bei unsymmetrischen Fehlern in den fehlerbetroffenen Leitern und führt zur Spannungserhöhung im fehlerfreien Leiter
- Zusätzliche Blindstromeinspeisung führt zu Fehlmessungen der eingesetzten Distanzschutzgeräte (bei Gegensystemstromkompensation fällt die Fehlmessung geringer aus)



Friedemann Möller, Dipl.-Ing.

Teststand zur Untersuchung der Netzurückwirkungen von Elektrofahrzeugen und Photovoltaikanlagen

Zur Abschätzung der Auswirkungen einer zunehmenden Durchdringung von Elektrofahrzeugen und Photovoltaikanlagen (*PV-Anlagen*) auf die Elektroenergiequalität in öffentlichen Niederspannungsnetzen ist es erforderlich für diese Geräte und Anlagen effiziente Simulationsmodelle zu entwerfen.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsprojektes ElmoNetQ werden höherfrequente Emissionen bis 150 kHz, niederfrequente Harmonische bis 2,5 kHz und die Unsymmetrie betrachtet.

Bisher wurden entsprechende Messungen lediglich unter Netzbedingungen durchgeführt, wobei Spannungsform und -effektivwert, Frequenz und Kurzschlussleistung vom Versorgungsnetz vorgegeben waren. Um die Netzurückwirkungen der genannten Geräte detailliert zu untersuchen, wurde an der TU Dresden ein Teststand errichtet, mit dem es möglich ist, Arbeitspunkte sehr flexibel und reproduzierbar einzustellen (vgl. Kurzbeitrag zur Einweihung des Teststandes). Bild I zeigt das schematische Funktionsprinzip und Tabelle I die wichtigsten Eigenschaften des Teststandes.

Ein speziell entwickeltes Mess- und Schaltfeld ermöglicht eine hohe Flexibilität beim kombinierten Betrieb von bis zu zwei Elektrofahrzeugen und zwei PV-Wechselrichtern. Das Schaltfeld erlaubt es, die einzelnen Verbraucher und Erzeuger zu- bzw. abzuschalten, sowie deren Phasenzuordnung zu variieren. Neben den einzelnen Abgängen für Wechselrichter und Ladestationen wurden Reservefelder für eine spätere Erweiterung vorgesehen.

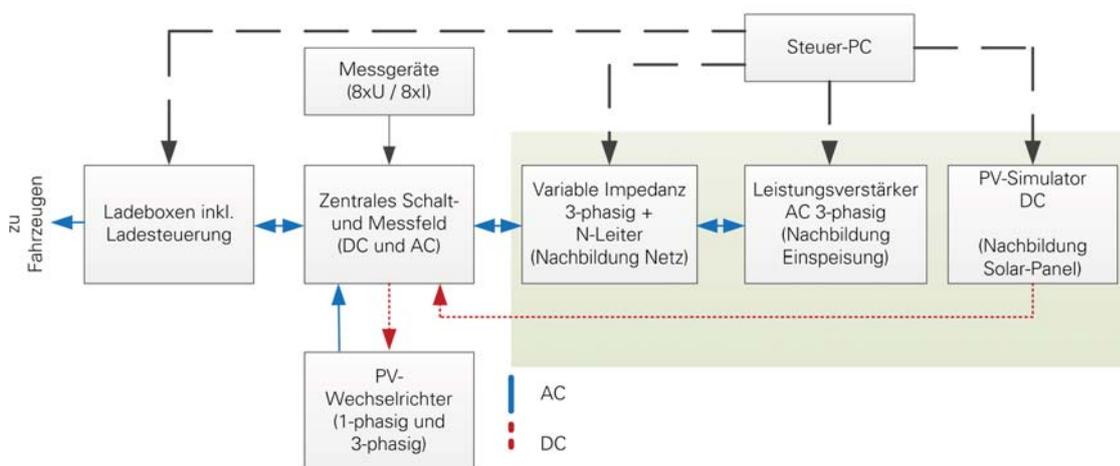


BILD I: SCHEMATISCHES FUNKTIONSPRINZIP DES TESTSTANDES

Zur Charakterisierung der Netzurückwirkungen von Elektrofahrzeugen und PV-Wechselrichtern wurde ein automatisierter Messablauf entwickelt. Zu Beginn jedes Durchlaufes wird die zu verwendende Netzimpedanz zugeschaltet. Darüber hinaus werden bei PV-Wechselrichtern die Charakteristik der Solarmodule und die globale Bestrahlungsstärke, bei Elektrofahrzeugen der maximale Ladestrom eingestellt. Für Elektrofahrzeuge wird vorab ein vollständiger Ladevorgang unter Referenzbedingungen (sinusförmige Spannung 230 V/50 Hz, keine Unsymmetrie) gemessen, um verschiedene Arbeitsbereiche im Ladevorgang zu erkennen.

Die automatisierte Messung besteht u. a. aus folgenden Teilmessungen:

- Eingangsimpedanzmessung bis 150 kHz
- Variation des Spannungsbandes
- Variation von Betrag und Phasenwinkel einzelner Harmonischer
- Gleichzeitige Variation von Betrag und Phasenwinkel mehrerer Harmonischer
- Variation einzelner höherfrequenter Anteile
- Variation der Spannungsunsymmetrie bei 3-phasigen Anlagen/Geräten

Zur Erstellung geeigneter Modelle wurden bisher acht unterschiedliche Typen von Elektrofahrzeugen und drei PV-Wechselrichter am Teststand gemessen. Die Praxistauglichkeit der daraus zu entwickelnden Modelle wird nochmals durch Netzmessungen verifiziert.

TABELLE I: ECKDATEN DES TESTANDS

AC-Netzsimulator	
Dauerleistung	45 kVA dreiphasig
Max. Spannung	380 V
Frequenzbereich	DC bis 156 kHz
Einstellmöglichkeiten individuell je Phase	Spannungsform; Effektivwert Phasenwinkel; Frequenz
Netzimpedanz	variabel einstellbar mit unterschiedlichen R/X-Verhältnissen
DC-Simulator (PV-Panel)	
Dauerleistung	10 kW
Einstellmöglichkeiten	Zelltemperatur; Globalstrahlung (Teil-)Abschattung; Paneltyp
Ladboxen für Elektrofahrzeuge	
Einstellmöglichkeiten	Begrenzung der Maximalladestromstärke für Typ 2 Stecker von 6 A bis 32 A
Anschluss der Fahrzeuge	Typ 2 Stecker; Schutzkontaktstecker



Sascha Müller, Dipl.-Ing.

Labormessung der Oberschwingungs-emissionen von Photovoltaik-Wechselrichtern

Aufgrund der politischen Rahmenbedingungen ist in Deutschland seit Jahren ein massiver Zuwachs an Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) zu beobachten. Die Anbindung der Solarpanels erfolgt dabei über Wechselrichter, die je nach installierter Leistung ein- oder dreiphasig an das Netz angeschlossen sind. In Folge der eingesetzten Schaltungstopologie und des zugrundeliegenden Regelungsalgorithmus entstehen bei dieser Umformung Oberschwingungsströme, die ihrerseits zu einer Verzerrung der Netzspannung führen können. Zur Nachbildung dieses Verhaltens in einer Netzsimulation werden hinreichend genaue Modelle für verschiedene Arten von Solarwechselrichtern benötigt. Grundlage für eine solche Modellierung ist eine umfassende Charakterisierung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussgrößen, zu denen die Spannungsform des Netzes, die Größe der Netzimpedanz und die Bestrahlungsstärke der PV-Module zählen.

Zur effizienten Durchführung dieser Charakterisierung wurde am IEEH ein Teststand aufgebaut (vgl. Beitrag von Dipl.-Ing. F. Möller). Über einen Messplatz-PC werden sowohl der Netzsimulator als auch der PV-Simulator angesteuert. Ein auf dem Rechner implementiertes Messprogramm ermöglicht den automatisierten Ablauf einer Messung, die sich dabei aus einer Vielzahl von einzelnen Betriebszuständen zusammensetzt. Diesen Zuständen ist bei einer vorher fest eingestellten Netzimpedanz und einer ebenfalls festen Kennlinie des Solarpanels jeweils eine bestimmte Spannungsform am Ausgang des Netzsimulators zugeordnet. Der prinzipielle Messaufbau ist in Bild I zu sehen. Die Kurzbezeichnungen "PV" und "Netz" wurden dabei anstelle der Begriffe PV-Simulator und Netzsimulator verwendet.

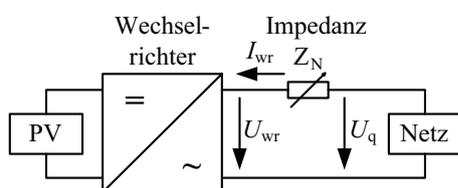


BILD I: MESSAUFBAU

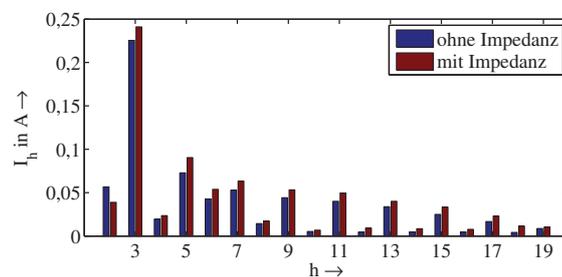


BILD II: STROMHARMONISCHE

Als Referenz für die Auswertung der aufgenommenen Messgrößen dient das Spektrum des Stromes bei rein sinusförmiger Spannung. In Bild II sind dazu beispielhaft für einen einphasigen Wechselrichter die Amplituden der Stromharmonischen bis zur Ordnung 19 dargestellt. Der Einfluss einer bestimmten Netzimpedanz ist an den rot dargestellten Balken zu erkennen, die

für fast alle Harmonischen etwas höher sind als für den Fall ohne Netzimpedanz. Deutlich wird außerdem, dass für den untersuchten Wechselrichter die 3. Harmonische betragsmäßig den größten Anteil an der Stromverzerrung hat.

Um die Abhängigkeit dieser Harmonischen von einer entsprechenden Spannung gleicher Frequenz zu untersuchen, wird jeweils eine Spannungsharmonische mit einer bestimmten Schrittweite in Betrag und Phasenlage variiert. Die Ergebnisse sind für die 3. Harmonische in Bild III dargestellt. Im linken Diagramm ist die 3. Harmonische der Quellenspannung U_q eingezeichnet, die direkt vom Netzsimulator ausgegeben wird. Rechts daneben ist die dazugehörige Spannung am Wechselrichter U_{wr} zu erkennen und ganz rechts befindet sich die Darstellung der 3. Stromharmonischen I_{wr} . Die Bezeichnungen entsprechen denen aus Bild I.

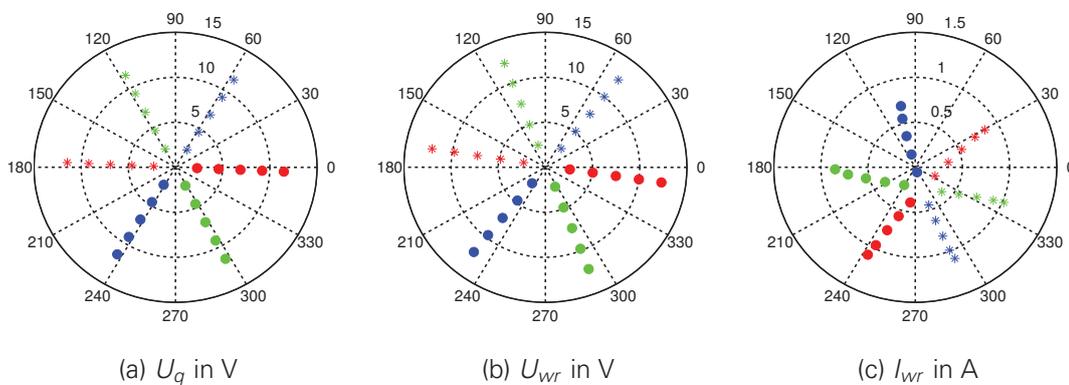


BILD III: VARIATION DER 3. SPANNUNGSHARMONISCHEN BEI VORHANDENER IMPEDANZ

Das Diagramm für den Strom zeigt, dass das Zentrum des dargestellten "Sterns" aus dem Koordinatenursprung verschoben ist. Der Betrag dieser Verschiebung entspricht dabei genau der Amplitude der 3. Harmonischen bei unverzerrter Ausgangsspannung, wie sie in Bild II dargestellt ist. Zudem lässt sich eine Phasenverschiebung gegenüber der jeweiligen Spannung U_{wr} von ca. 120° feststellen, die zu einer Anhebung dieser Spannung gegenüber der am Simulator U_q führt. Außerdem lässt sich aus der symmetrischen Gestalt dieses "Sterns" und den nahezu gerade verlaufenden "Strahlen" ein linearer Zusammenhang für kleine Aussteuerungen um diesen Arbeitspunkt des Wechselrichters ablesen.

Weitere Untersuchungen werden sich mit dem Zusammenhang zwischen Strom- und Spannungsharmonischen unterschiedlicher Ordnung und dem Verhalten bei Oberschwingungsgemischen beschäftigen. Aus den dadurch gewonnenen Erkenntnissen über das Verhalten von PV-Wechselrichtern kann schließlich ein erstes Modell abgeleitet werden.



Sebastian Palm, Dipl.-Ing.

Bestimmung der Non Detection Zone (NDZ) in unbeabsichtigten Inselnetzen

Die Dezentralisierung der Energieerzeugung schränkt das traditionell angewendete Schutzkonzept oftmals in seiner Funktion ein. Verließ bislang der Energiefluss stets unidirektional vom Hochspannungstransportnetz über die Mittelspannungsverteilungsnetze bis in die Niederspannungsanwendungen, so können zukünftig große Mengen dezentral erzeugter Energie die Energieflussrichtung ändern. Eine mit diesem veränderten Energiefluss zusammenhängende Herausforderung stellt die Bildung von Inselnetzen dar, die in Bild I dargestellt ist. Falls in einem Netzbereich die Energiebilanz durch dezentrale Energieerzeugung (DEA) und den lokalen Energieverbrauch ausgeglichen ist, kann es passieren, dass im Falle der Trennung dieses Netzbereiches vom vorgelagerten Netz ein Inselnetz entsteht. Da in Inselnetzen die Spannungsqualität nicht gewährleistet werden kann und die weiterhin anliegende Spannung eine Gefahr für Betriebspersonal darstellen würde, ist es von großer Bedeutung Detektionsmethoden zu implementieren, die eine Inselnetzbildung sicher erkennen und bei Bedarf beenden können. Auch im Rahmen einer automatischen Wiedereinschaltung (AWE) nach einem Netzfehler kann eine entstandene Insel zu einer unsynchronisierten Wiedereinschaltung und in deren Folge zu Schäden an elektrischen Betriebsmitteln führen.

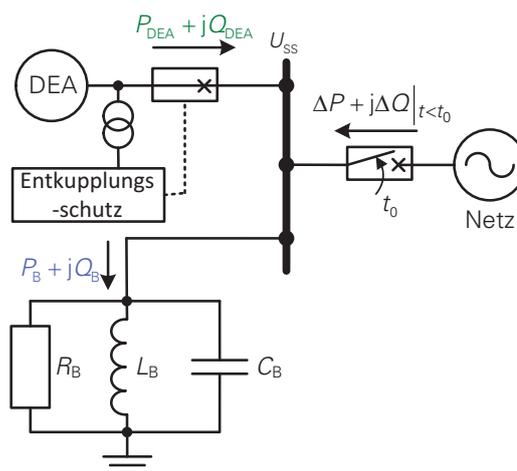


BILD I: BILDUNG EINES UNBEABSICHTIGTEN INSELNETZES

Als Grundlage für die Entwicklung von Inselnetz-Detektionsverfahren und Schutzkonzepten muss der Entstehungsvorgang von unbeabsichtigten Inselnetzen analysiert werden. Daraus können Rückschlüsse auf kritische Netz-situationen geschlossen werden, in denen der Entkuppungsschutz der DEA

nicht in der Lage ist ein sich bildendes Inselnetz zu detektieren und die DEA auszuschalten. Die Gesamtheit der Fälle, in denen sich stabile Inselnetze ausbilden können, ergibt die „Non Detection Zone“ (NDZ) des Entkuppelungsschutzes.

In jedem Inselnetz müssen Wirk- und Blindleistungsbilanz ausgeglichen sein, sodass sich ergibt:

$$\Delta P = 0 = P_{\text{DEA}}(U_{\text{SS}}, f) - P_{\text{B}}(U_{\text{SS}}, f) \quad (1)$$

$$\Delta Q = 0 = Q_{\text{DEA}}(U_{\text{SS}}, f) - Q_{\text{L}}(U_{\text{SS}}, f) + Q_{\text{C}}(U_{\text{SS}}, f) \quad (2)$$

Ist die Leistungsbilanz bereits vor der Inselung des Netzteils ausgeglichen und ΔP und ΔQ nahe Null, so wird sich eine stabile Insel einstellen. Ein Ausgleich der Leistungsbilanz ist jedoch auch bei ΔP und $\Delta Q > 0$ möglich. Aus den Abhängigkeiten der einzelnen Wirk- und Blindleistungsanteile in den Gln. 1 und 2 wird ersichtlich, dass dies erreicht werden kann, wenn sich in dem Inselnetz der Betrag U_{SS} oder die Frequenz f der Spannung verändern. Solange diese beiden Größen innerhalb der Schutzgrenzen des Entkuppelungsschutzes verbleiben, kann sich ein stabiles Inselnetz bilden.

Bei dem Vorgang der Spannungs- und Frequenzänderung hat sowohl die Charakteristik der Last als auch die Art der DEA (Einspeisung über Umrichter, Direkteinspeisung mit Asynchrongenerator oder Direkteinspeisung mit Synchrongenerator) einen wesentlichen Einfluss. Je nach Zusammensetzung von Erzeugung und Last bilden sich unterschiedliche NDZ aus.

Im Fall der Einspeisung über unregelmäßige Maschinen, deren Leistungsabgabe nach einem Fahrplan erfolgt und die dementsprechend über keine Spannungs- und Frequenzregelung besitzen, ist die NDZ zusätzlich noch vom aktuellen Betriebspunkt des Generators abhängig. In Bild II wird die NDZ des Netzes aus Bild I für den Betrieb mit halber Nennlast (links) und den Betrieb unter Volllast (rechts) des Generators dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die NDZ bei unterschiedlichen Verhältnissen zwischen der Leistung der Last und des Generators auftritt und zugleich eine andere Form aufweist.

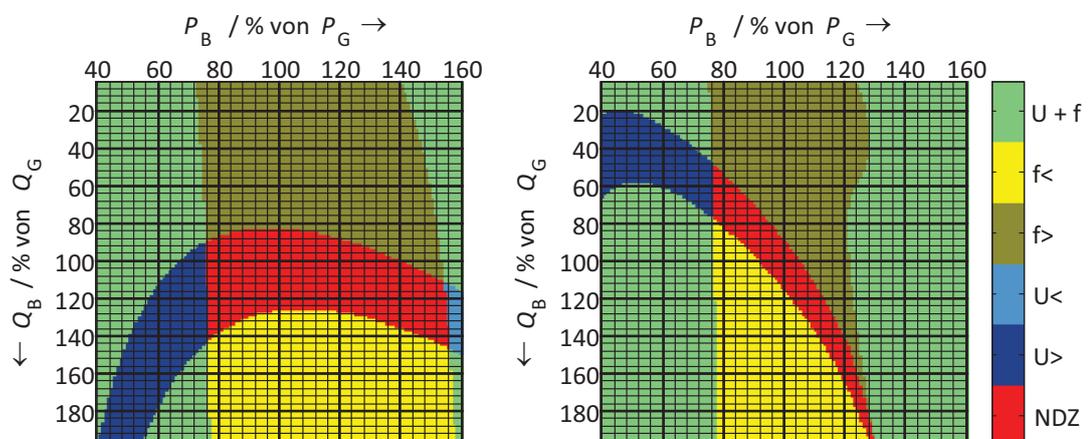


BILD II: NDZ EINES INSELNETZES MIT EINEM SYNCHRONGENERATOR



Uwe Schmidt, Dr.-Ing.

Betriebsbedingte Ströme über Erdseil-Tragklemmen von 380-kV-Freileitungen

Die Erdseile von Hoch- und Höchstspannungs-Freileitungen werden an den Tragpunkten mit Aluminium-Tragklemmen aufgehängt, die eine Auslenkung des Erdseiles längs und quer zur Leitungsrichtung zulässt. Eine flexible Aufhängung der Tragklemmen in den Aufhängelaschen erfolgt über den sogenannten C-Tragbock. Aufgrund der elektromagnetischen Kopplung von Leiter-

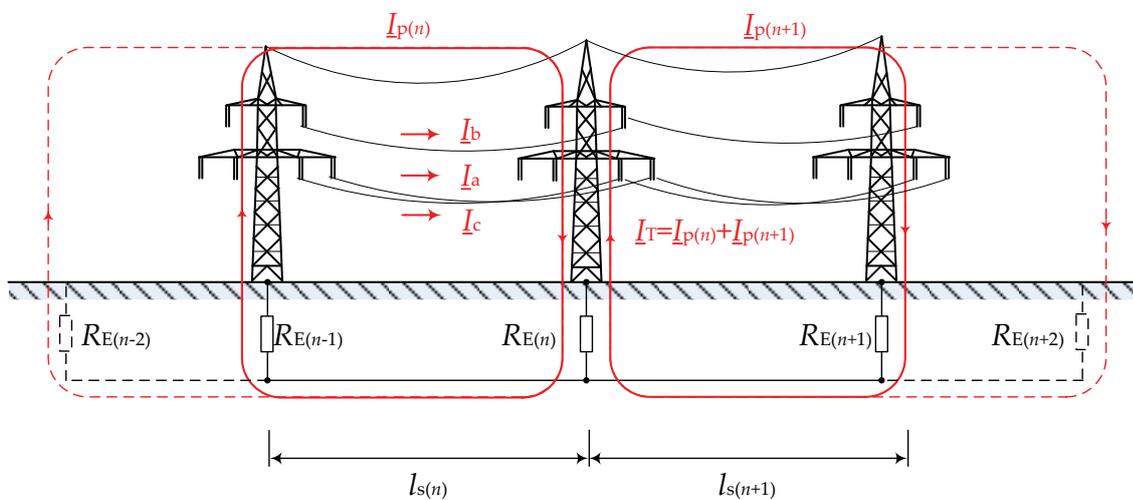


BILD I: ERDSEIL-ERDE-SCHLEIFEN VON SPANNFELDERN EINER 380-KV-FREILEITUNG

und Erdseilen werden Spannungen in den Erdseil-Erde-Schleifen induziert (Bild I). Die induzierten Spannungen sind dabei von der Geometrie der Anordnung, von den elektrischen Parametern der Freileitung und den Betriebsströmen I_L abhängig. Für die Darstellung der induktiven Verkettung der Leiter¹ kann eine Ersatzanordnung nach Bild II (siehe auch KOETTINITZ [1]) beschrieben werden. Die sich einstellenden Ströme und Spannungen können durch ein Gleichungssystem nach (1) beschrieben werden.

$$\begin{pmatrix} U_{a(1)} - U_{a(2)} \\ U_{b(1)} - U_{b(2)} \\ U_{c(1)} - U_{c(2)} \\ U_p(1) - U_p(2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta U_a \\ \Delta U_b \\ \Delta U_c \\ \Delta U_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{ap} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bp} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cp} \\ Z_{pa} & Z_{pb} & Z_{pc} & Z_{pp} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_p \end{pmatrix} \quad (1)$$

Betrag und Phasenlage der induzierten Ströme und Spannungen werden von der induktiven Kopplung, also von der Gegeninduktivität der Leiterschleifen M und N bestimmt. Für gegebene Betriebsströme I_L der Systeme einer

¹ Unter Leiter wird in diesem Fall eine stromdurchflossene Schleifen verstanden, die sich elektromagnetisch beeinflussen.

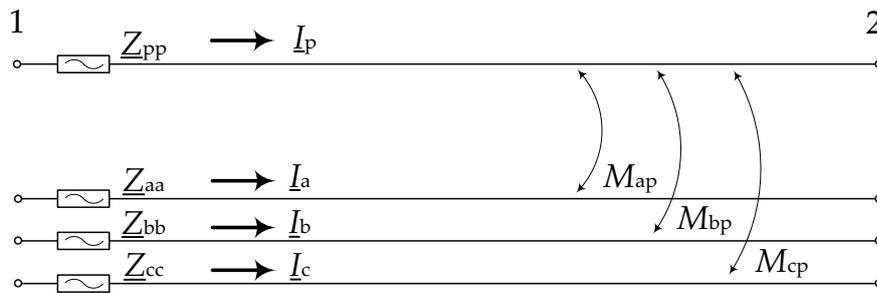


BILD II: ERSATZANORDNUNG ZUR BESCHREIBUNG DER INDUKTIVEN VERKETTUNG DER LEITER EINER FREILEITUNG

Doppelleitung lässt sich über das Gleichungssystem (1) der Strom im Erdseil bestimmen. In Bild III ist der berechnete I_p Strom im Erdseil einer Doppelleitung über dem Belastungsstrom $I_{L(I+II)}$ angegeben. Der Strom durch den Mast I_T im Zuge einer Freileitung hängt bei gleichen Längen der Spannfelder im Wesentlichen von der Differenz der Schleifenimpedanzen und den Mast-Erdungswiderständen R_E der anliegenden Spannfelder ab. Ergänzend ist in Bild III der Strom I_T durch den Mast in Abhängigkeit der Differenz der Mast-Erdungswiderstände ΔR_E angegeben. Im Rahmen des Forschungsauftra-

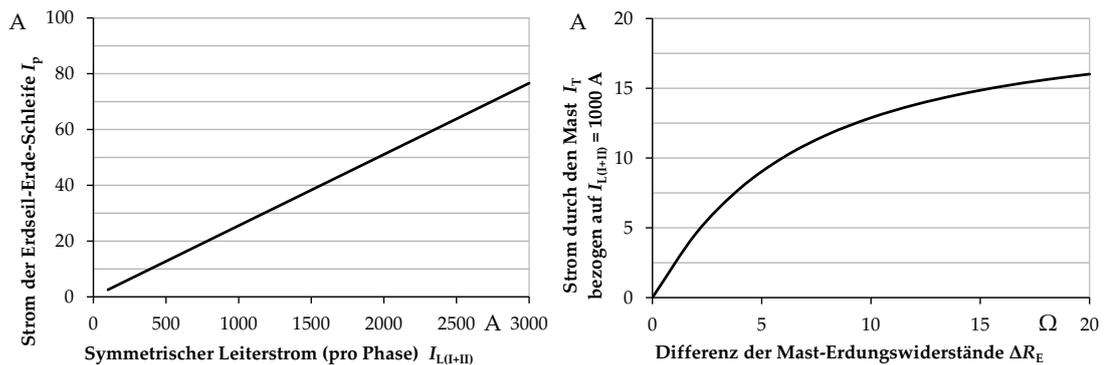


BILD III: STRÖME DER ERDSEIL-ERDE-SCHLEIFE I_p UND IM TRAGMAST I_T

ges eines Übertragungsnetzbetreibers wurden für relevante Mastkonfigurationen und für ein spezifisches Freileitungsdesign Maximalwerte der Ströme durch den Mast und damit durch die Erdseil-Tragarmaturen berechnet. Dabei wurden Übergangswiderstände, Mast-Erdungswiderstände und spezifische Randbedingungen (Verdrillungs- und Abspannmasten) berücksichtigt. Zur schnellen und einfachen Berechnung wurde das Berechnungstool „calcOHL“ entwickelt, mit dem auch Leitungsparameter berechnet werden können.

- [1] H. Koettwitz, H. Pundt, *Berechnung elektrischer Energieversorgungsnetze; Mathematische Grundlagen und Netzparameter*. Band 1., Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1968.



Stefan Schöttke, Dipl.-Ing.

Auswirkungen der Ladung von Elektrofahrzeugen auf die Elektroenergiequalität im Niederspannungsnetz

Die in Zukunft zu erwartende hohe Durchdringung an Elektrofahrzeugen stellt für die Niederspannungsnetze eine neue Herausforderung dar. Um den Anforderungen gerecht zu werden, sind die bestehenden Netze vor allem auf ihre Übertragungskapazitäten (z. B. Energiebereitstellung, Belastbarkeit der Leiter) zu untersuchen. Von Bedeutung ist ebenfalls der Einfluss der Elektrofahrzeuge auf die Elektroenergiequalität am Verknüpfungspunkt, da diese direkt (z. B. Flicker) und indirekt (z. B. Lebensdauer von Geräten) vom Kunden wahrgenommen wird und somit einen Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz von Elektrofahrzeugen haben kann.

Im Folgenden wird der Einfluss auf die Elektroenergiequalitätskenngrößen anhand des einphasigen Ladevorgangs eines Fahrzeugs diskutiert. Bild I zeigt den Verlauf von Strom und Spannung für eine Periode. Die Stromverzerrung und das kapazitive Verhalten des Ladegleichrichters sind deutlich zu erkennen.

Der Großteil der derzeitigen Elektrofahrzeuge lädt ein- oder zweiphasig. Diese **unsymmetrische** Belastung verursacht Ströme im Gegen- und/oder Nullsystem und erhöht die Spannungsunsymmetrie am Verknüpfungspunkt [1]. Diese kann zu einer zusätzlichen Belastung des Neutralleiters sowie von elektrischen Maschinen und zur Beeinflussung von Signalleitungen führen. Bild II zeigt den Anstieg von Null- (u_0) und Gegensystemunsymmetrie (u_2) der Spannung am Verknüpfungspunkt zu Beginn des Ladevorgangs.

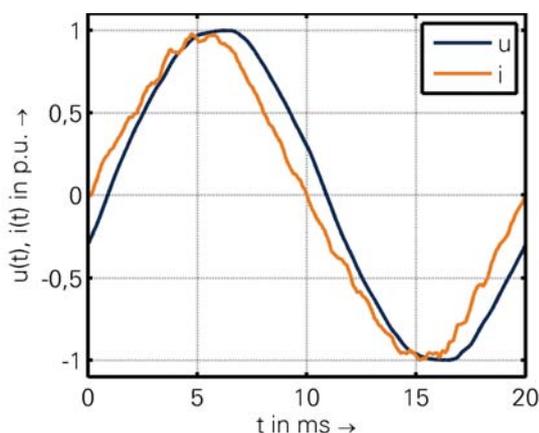


BILD I: ZEITVERLAUF VON STROM UND SPANNUNG

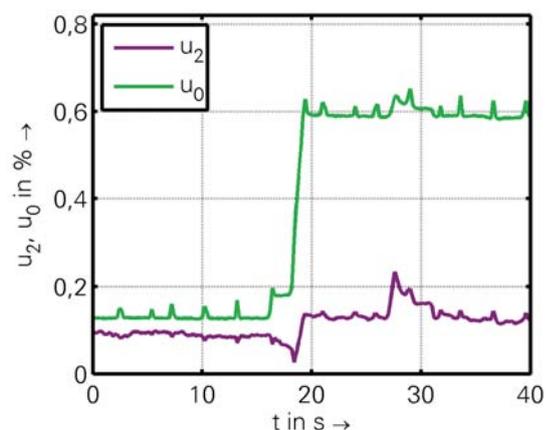


BILD II: UNSYMMETRIE ZU BEGINN DES LADEVORGANGS

Oberschwingungen werden durch getaktete, elektronische Schaltungen bzw. Betriebsmittel mit nichtlinearer Strom-Spannungs-Kennlinie verursacht. Hierzu zählen insbesondere leistungselektronische Baugruppen wie Gleich- oder Wechselrichter [2]. Stromoverschwingungen führen zu einer verzerrten Spannungsform am Verknüpfungspunkt und können damit die Alterung von Geräten begünstigen. Bei dem untersuchten Fahrzeug überwiegen die ungeraden Oberschwingungen. Dies trifft zu, solange der Stromverlauf einer Periode punktsymmetrisch ist. Das Amplitudenspektrum der ungeraden Harmonischen ist in Bild III dargestellt.

Die normativen Grenzwerte für niederfrequente Harmonische resultierte im vermehrten Einsatz von Schaltungen zur aktiven Leistungsfaktorkorrektur und selbstgeführten Umrichtern. Hierdurch ist im Netz eine Verschiebung der Störemissionen in den **höherfrequenten Bereich**, für den derzeit keine normativen Vorgaben existieren, beobachtbar. Die Störströme werden bei der Schaltfrequenz des Umrichters bzw. der Leistungsfaktorkorrektur und ihren Vielfachen emittiert. Diese höherfrequente Emission kann im Netz zu Resonanzanregungen von Betriebsmitteln (z. B. Wandlern) führen, hörbare Störgeräusche an Geräten erzeugen, Datenübertragung über das Stromnetz (Power Line Communication) stören oder auch Smart-Meter beeinflussen. Bild IV zeigt das Spektrogramm des Stroms während der Ladung des Elektrofahrzeugs, wobei die Schaltfrequenz bei ca. 20 kHz und ihre Vielfachen gut erkennbar sind.

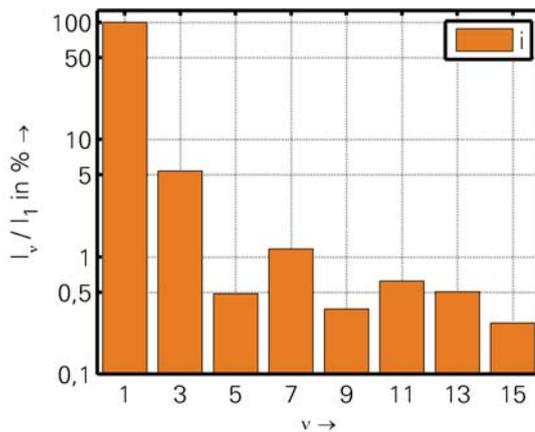


BILD III: GRUNDSCHWINGUNG UND UNGERADE OBERSCHWINGUNGEN DES STROMES

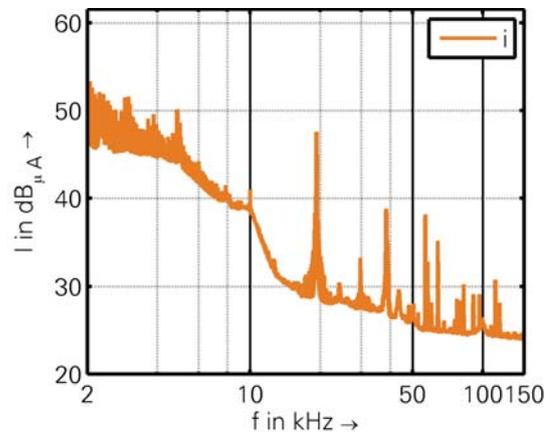


BILD IV: HÖHERFREQUENTES STROMSPEKTRUM

- [1] J. Meyer, S. Hähle, P. Schegner, C. Wald, *Impact of electrical car charging on unbalance in public low voltage grids*. EPQU conference 2011
- [2] A.J. Collin, S.Z. Djokic H.F. Thomas, J. Meyer *Modelling of Electric Vehicle Chargers for Power System Analysis*. EPQU conference 2011



Roberto Schulze, Dr.-Ing.

Untersuchung von induktiven Spannungswandlern mithilfe eines analytischen Modells

Spannungswandler werden derzeit nach dem Übersetzungsverhältnis, der sekundärseitig angeschlossenen Last (Bürde) sowie für eine bestimmte Bemessungsfrequenz ausgelegt. Sowohl die Einspeisung regenerativer Energien als auch der Bezug von Elektroenergie durch neuartige Verbraucher erfolgt zunehmend mittels Leistungselektronik. Dies kann zu höherfrequenten Spannungen und Strömen führen, welche auch in der Mittelspannungsebene auftreten. Es ist bekannt, dass Spannungswandler der Mittelspannungsebene im Amplitudenfrequenzgang bis 20 kHz Resonanzstellen besitzen und Signale mit diesen Frequenzkomponenten nicht entsprechend dem Übersetzungsverhältnis übertragen. Zur Untersuchung des Einflusses von Wandlergeometrie und Materialparameter auf die Position dieser Resonanzstellen ist eine Modellierung notwendig. Im Hinblick auf eine Minimierung von Rechenzeiten lag der Fokus auf der Entwicklung eines analytischen Modells.

Vereinfachende Feldannahmen, die mittels FEM-Simulationen geprüft wurden, ermöglichen die analytische Berechnung von Selbst- und Koppellinduktivitäten. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ein Ersatzschaltbild in Form eines Kettenleitermodells entwickeln, wobei das kleinste Element eine Lage des Spannungswandlers darstellt. Gemäß dem Wickelschema erfolgt eine

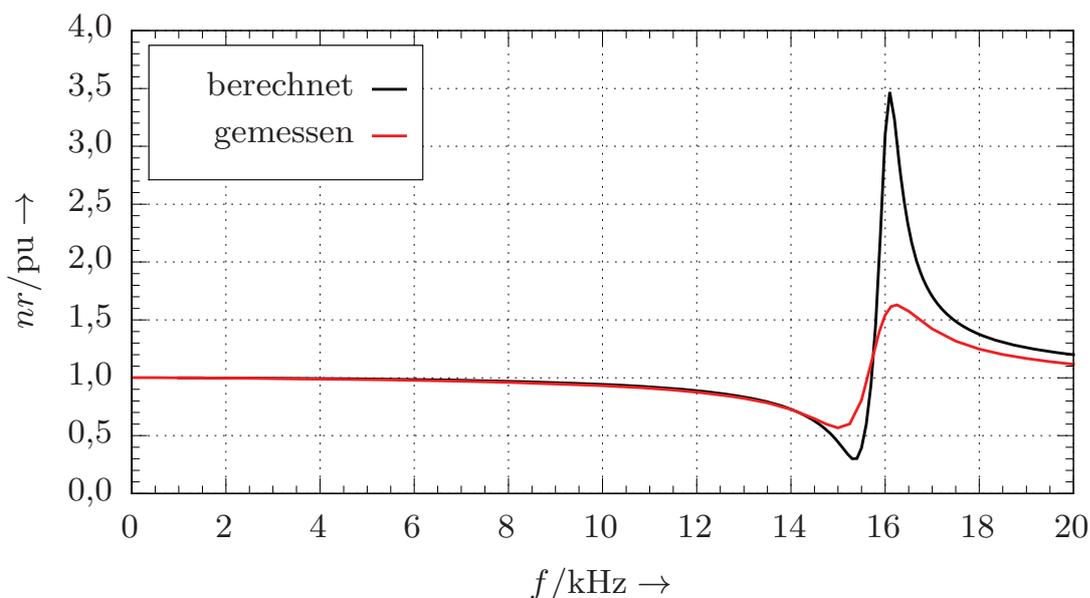


BILD I: BERECHNETER UND GEMESSENER AMPLITUDENFREQUENZGANG EINES 20 kV-SPANNUNGSWANDLERS

Verschaltung dieser Ersatzschaltbildelemente, welche durch die Resistenzen des Wickeldrahts sowie den Lagenkapazitäten ergänzt werden. In Abhängig-

keit der Lagenanzahl besitzt das Modell eine bestimmte Anzahl an Energiespeichern, deren Kopplung ein schwingungsfähiges System darstellt. Die mathematische Modellierung dieses Systems ist mithilfe eines Zustandsgleichungssystems möglich, wobei die primärseitig eingeprägte Spannung als Eingang des dynamischen Systems auftritt.

Bild I zeigt beispielhaft den berechneten und den gemessenen Amplitudenfrequenzgang eines 20-kV-Spannungswandlers mit 122 Primär- und 2 Sekundär-lagen. Die Modellierung dieses Wandlers erfordert ein Gleichungssystem mit 246 Zuständen. Bis auf die absoluten Werte von Pol- und Nullstelle stimmt die Berechnung gut mit der Messung überein.

Neben der Vorausberechnung des Frequenzübertragungsverhaltens eines Spannungswandlers ermöglicht das analytische Modell die Bestimmung nicht messbarer Größen wie bspw. Doppellagenspannungen und Lagenströme. Anhand der berechneten Doppellagenspannungen u_L ist eine Untersuchung der dielektrischen Belastung der Lagenisolation und das Auffinden von kritischen Frequenzen möglich.

Für den 20-kV-Wandler sind die normierten Doppellagenspannungen \tilde{u}_L in Bild II dargestellt. Der Wert $\tilde{u}_L = 1$ bei Frequenzen $f \ll 10$ kHz entspricht einer Gleichverteilung der Doppellagenspannungen entlang der Primärlagen des Spannungswandlers. Im Bereich der Resonanzfrequenz kommt es in

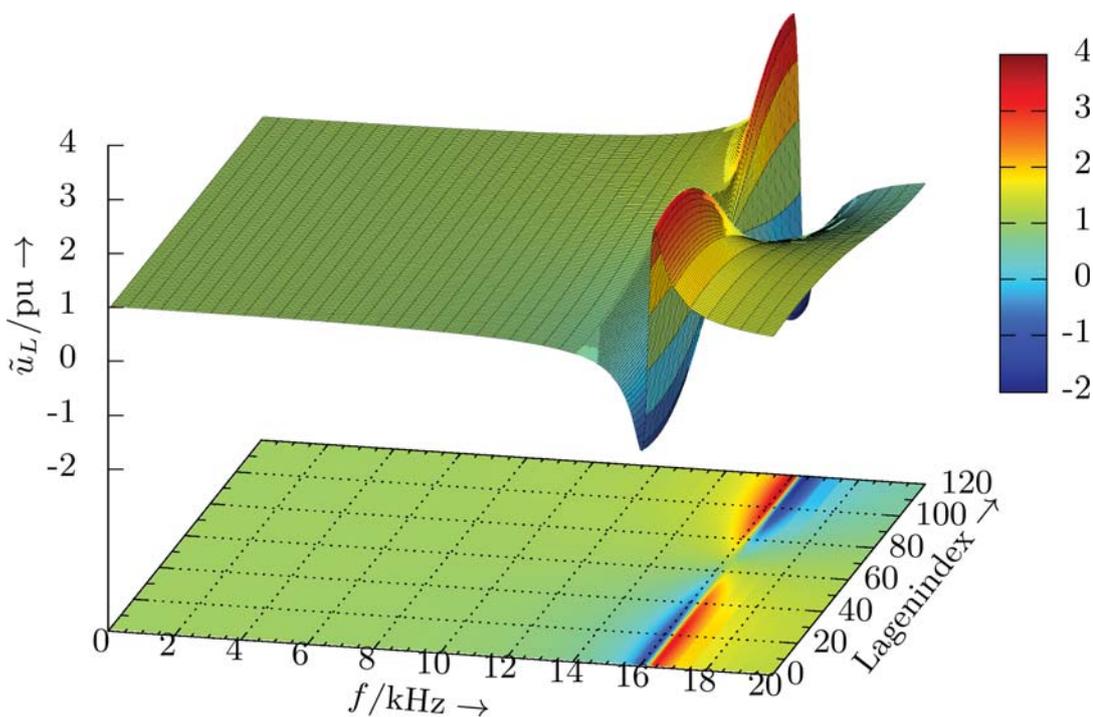


BILD II: DOPPELLAGENSINNUNGEN DES 20 kV-SPANNUNGSWANDLERS

einigen Lagen zu einer bis zu 4-fach höheren Spannungsbeanspruchung. Weiterhin fallen Lagen mit entgegengesetzt gerichteten Spannungen sowie sehr kleine Doppellagenspannungen in der Mitte der Primärwicklung (Lagenindex 60) auf. Dies ist ein Zeichen für entgegengesetzt fließende Ströme in der unteren und der oberen Hälfte der Primärwicklung.

Somit ermöglicht dieses Modell grundlegende analytische Untersuchungen an Spannungswandlern und einen tieferen Einblick in die Physik der Spule.



Robert Stiegler, Dipl.-Ing

Normgerechte Prüfung von Spannungsqualitätsmessgeräten nach IEC 61000-4-30

Spannungsqualitätsmessgeräte werden zunehmend für vielfältige Messanwendungen in Elektroenergienetzen eingesetzt. Ihr Einsatzzweck reicht von Übersichtsmessungen zur Ermittlung der mittleren Spannungsqualität, über den Nachweis der Emissionsgrenzwerte von Installationen bis hin zur Überwachung von vertraglich garantierten Eigenschaften der Spannung bei Abnehmern. Durch die IEC 61000-4-30 werden Messverfahren und Genauigkeitsklassen für Spannungsqualitätsmessgeräte definiert um eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse verschiedener Messgeräte zu garantieren. Die Prüfung dieser Messgeräte ist in dieser Norm aber nur unzureichend definiert. Deshalb wird zurzeit die Produktnorm IEC 62586-2 erarbeitet, welche wesentlich umfangreichere Prüfungen festlegen soll. Im Rahmen des vorgestellten Projektes wurden ein Prüfsystem und neue Prüfalgorithmen entwickelt, um eine Prüfung auf Normkonformität von Messgeräten zu ermöglichen und den Entwicklungsprozess der Produktnorm zu unterstützen [1]. Weiterhin sollen mit dem Prüfsystem auch Prüfungen von nicht normierten Kenngrößen wie z. B. Oberschwingungswinkel ermöglicht werden.

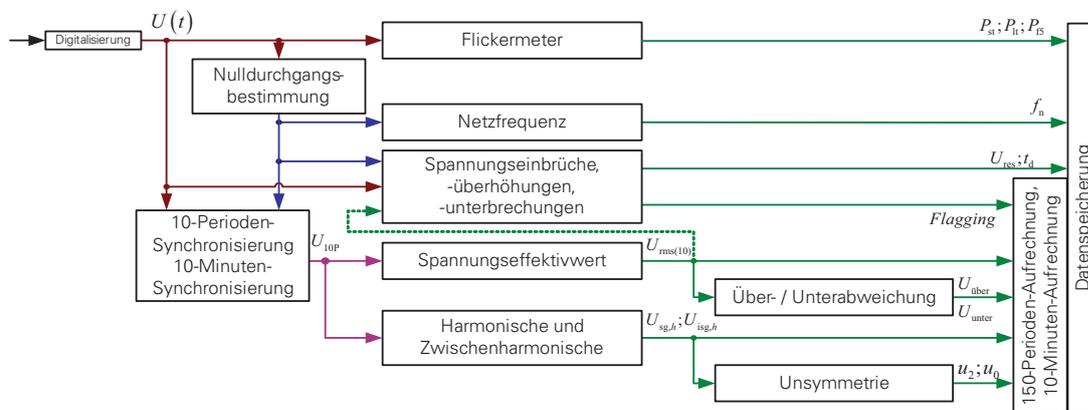


BILD I: BLOCKDIAGRAMM DES MODELLMESSGERÄTES

Um mögliche Beeinflussungsgrößen und Implementierungsfehler zu identifizieren, wird das Spannungsqualitätsmessgerät nach IEC 61000-4-30 in Form eines Modellmessgerätes (Bild I) dargestellt. Es wird die Signalverarbeitung für die Ermittlung jeder einzelnen Spannungsqualitätsgröße entwickelt und analysiert. Dabei werden verschiedene mögliche Implementierungsvarianten berücksichtigt. So ist es zum Beispiel möglich, harmonische Spannungen mit einer DFT zu ermitteln oder nach einem Resampling mit einer FFT. Beide Varianten können ihre jeweils spezifischen Schwachstellen in der Implementierung haben. Aus dem so erstellten Modellmessgerät wird

der Prüfbedarf abgeleitet, es sollen sowohl Schwachstellen in verschiedenen Implementierungsvarianten überprüft, wie auch Implementierungsfehler erkannt werden.

Die Prüfalgorithmen werden auf Basis des ermittelten Prüfbedarfs entwickelt. Hierbei wird das Messgerät als Blackbox behandelt. Das heißt, ein definiertes Prüfsignal muss bei korrekter Signalverarbeitung ein definiertes Messergebnis im Rahmen der zulässigen Messungenauigkeit ergeben. Es wird dabei nicht geprüft, ob sich das Messgerät wie das Modell verhält, sondern ob sich das Messgerät so verhält wie normativ gefordert. Weiterhin muss jeder Funktionsblock für jede Spannungsqualitätskenngröße separat geprüft werden, z. B. muss die korrekte Nulldurchgangsbestimmung für jede Spannungsqualitätsgröße überprüft werden.

Für das Prüfsystem (Bild II) wird eine kalibrierte, computergesteuerte, frei programmierbare Spannungs- und Stromquelle genutzt. Damit werden definierte Signale auf das zu prüfende Messgerät gegeben. Nach der Prüfung werden die Messergebnisse über ein Interface aus dem Messgerät ausgelesen und mit den generierten Signalen verglichen und bewertet. Anschließend wird automatisch ein Prüfbericht für die durchgeführten Prüfungen erstellt. Mit dem Prüfsystem wurden bislang mehrere Geräte intern und für externe Auftraggeber auf Normkonformität untersucht.

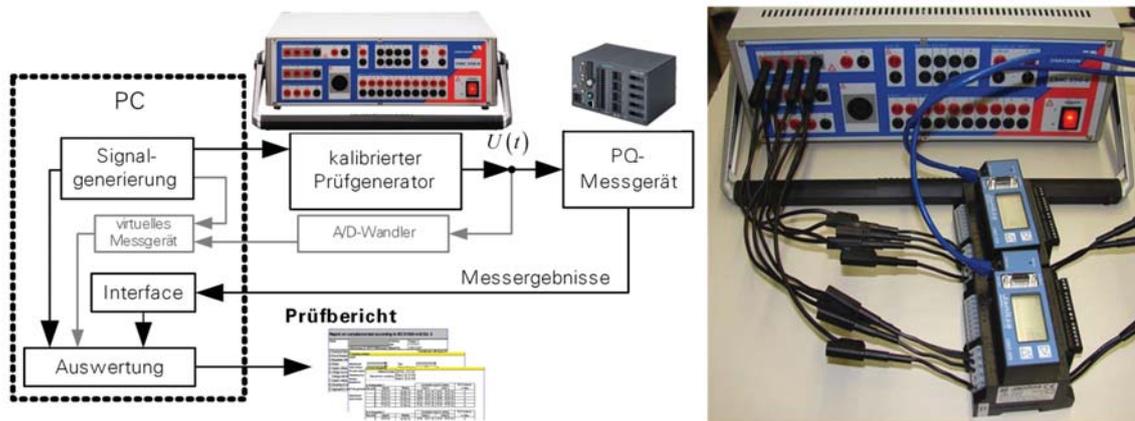


BILD II: AUFBAU DER PRÜFEINRICHTUNG

- [1] J. Meyer, P. Schegner, M. Domagk, 2009, *Automated Test System for Accuracy Verification of Power Quality Measurement Instruments*, 20th International Conference on Electricity Distribution, CIRED, Prague



Jens Werner, Dipl.-Ing.

**Energiewirtschaftliches Potential von
Regionalen Virtuellen Kraftwerken**

Die Energieversorgung in Deutschland befindet sich momentan in einem rasant voraneilenden grundlegenden Wandel. Durch zahlreiche Marktanzreizprogramme und Verordnungen wird ein Umbau von einem auf fossilen Primärrohstoffen basierenden in ein nachhaltiges und effizientes Energieversorgungssystem durch die Politik forciert. Dies betrifft nicht nur die Elektroenergieversorgung, auch die Wärmeversorgung steht in zunehmenden Maße im Fokus, was sich in neuen und effizienten Technologien, wie z. B. Wärmepumpen und Kraft-Wärme-Kopplungen (KWK)-Anlagen äußert.

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsvorhabens „Regionales Virtuelles Kraftwerk (RVK) auf Basis von Mini- und Mikro-KWK-Anlagen (μ KWK)“ wird untersucht, wie ein Verbund von KWK-Anlagen zielgerichtet betrieben werden kann, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten. Dies erfolgt unter Beachtung von Netzrestriktionen, wie die maximale Strombelastbarkeit oder die Einhaltung des Spannungsbands. Das Forschungsprojekt umfasst dabei messtechnische Untersuchungen, die Entwicklung von Betriebsalgorithmen als auch die Bestimmung des energiewirtschaftlichen Potentials eines RVK.

Grundlage für die Abschätzung des Potentials eines RVK ist die zukünftige Entwicklung der Durchdringung der elektrischen Infrastruktur mit μ KWK-Anlagen. Darauf haben eine Vielzahl an Faktoren Einfluss, z. B. die Entwicklung des Gaspreises, konkurrierende Heizsysteme, die Marktanzreizprogramme oder die Entwicklung des Gebäudebestands. Letztgenannter Punkt ist dabei von grundlegender Bedeutung, da μ KWK-Systeme besonders für Haushalte mit einem Wärmeverbrauch von $Q \geq 20.000$ kWh/a geeignet sind. Dies entspricht typischerweise älteren Gebäuden, die entsprechend der Wärmeschutzverordnung (WSVO) 77, WSVO 82 und teilweise auch WSVO 95 errichtet wurden. Eine Analyse zur Gebäudesanierung zeigt, dass von ca. 15,2 Mio. Ein- und Zweifamilienhäusern sowie ca. 3,1 Mio. Mehrfamilienhäusern, 78 % als unsaniert eingestuft werden, d. h. sie erfüllen die WSVO 95 nicht. Auch im Jahr 2030 werden sich noch 50 % der Häuser in einem unsanierten Zustand befinden. Zusammenfassend lässt sich somit von nemenswertem Potential und günstigen Voraussetzungen für die Integration von μ KWK-Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäuser ausgehen.

Für die Integration von RVKs sind jedoch zusätzlich relevante Geschäftsfelder zu identifizieren, die eine erhöhte Profitabilität als ein rein wärmegeführter Betrieb ermöglichen. Hierzu zählen die Teilnahme am Energie- bzw. Regelleistungs- und Regelenergiemarkt als auch bilaterale Verträge mit dem Netzbetreiber, womit gezielt zum Bilanzkreisausgleich beigetragen oder

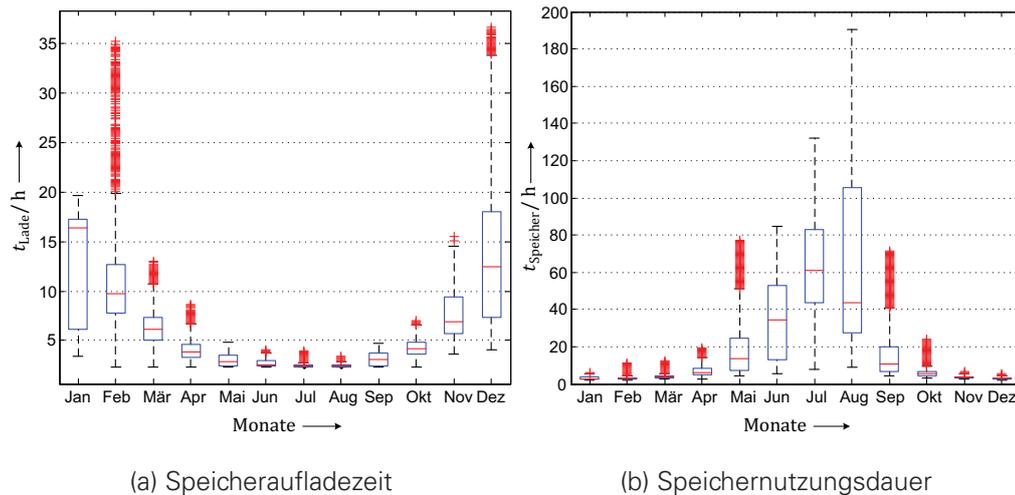


BILD I: KENNGRÖSSEN ZUR BEURTEILUNG DES EINSATZPOTENTIALS EFH
 (WSVO 77, 200 l täglichem Wasserbedarf, 500 l Wärmespeicher sowie μ KWK-Anlage
 mit $P_{rel} = 4$ kW und $P_{rth} = 11,2$ kW)

Netzausbau vermieden werden kann. Für letztgenannten Punkt ist zum Beispiel ein koordinierter Betrieb mit PV-Anlagen sowie eine Reduktion der Netzhöchstlast denkbar. Nach aktuellem Stand existieren hierfür jedoch keine Anreize für Netzbetreiber.

Ziel der Arbeit ist es, das Potential für die Vermarktung der Erzeugerleistung zu ermitteln sowie notwendige Voraussetzungen, die den operativen Betrieb betreffen, abzuleiten. Weiterhin sind geeignete Dimensionierungsregeln für die Größe des Wärmespeichers und der μ KWK-Anlage abzuleiten. Um die genannten Ziele zu erreichen, ist es notwendig, geeignete Kenngrößen zur Bewertung der Einsatzflexibilität der μ KWK-Anlage sowie des Vermarktungspotentials zu identifizieren. Beispielhaft sind zwei wesentliche Kenngrößen, die Speicheraufladezeit und -nutzungsdauer in Bild I für ein Einfamilienhaus (EFH) nach WSVO 77 dargestellt.

Erste Ergebnisse zeigen, dass deutliche Potentiale bei netzorientierter Betriebsweise liegen. Durch einen koordinierten Betrieb von μ KWK-Anlagen mit PV-Anlagen kann in Abh. von Speichergröße und Anlagendimensionierung deutlich mehr Erzeugerleistung in das Niederspannungsnetz integriert werden, für gezeigtes Betrachtungsbeispiel (Bild I) sind dies in etwa 50 %. Zusätzlich lässt sich die Netzhöchstlast um etwa 18 % reduzieren, was auch unter Anbetracht der Entwicklung zu einer dezentralen Wärmeversorgung mit Wärmepumpen sowie in Richtung elektrische Mobilität erhebliche Vorteile ergibt. In weiteren Untersuchungen soll mit Hilfe von Algorithmen, welche die Koordination der Einzelanlagen im RVK optimieren, die Wirtschaftlichkeit weiter erhöht werden. Zusätzlich sind umfängliche und grundlegende Untersuchungen zur Teilnahme am Stromhandel notwendig.

[1] Shell Deutschland Oil GmbH, BDH Bundesindustrieverband Deutschland - Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V., *Klimaschutz im Wohnungssektor - Wie heizen wir morgen?*, Hamburg/Köln Mai 2013.

3.1.3 Publikationen

Vorträge

Bauer, H.:

Sicherheit von mobilen Arbeitsmaschinen in der Nähe von Freileitungen. VDE-Ausschuss *Sicherheits- und Unfallforschung*, 78. Sitzung, Nürnberg, Deutschland, 28.02.2013

Bauer, H.:

Kernkraftwerke nach Fukushima. Kolloquium des IEEH, Dresden, Deutschland, 26.03.2013

Bauer, H.:

Isolationskoordination und Überspannungsschutz. Fachveranstaltung Haus der Technik *Hochspannungsschaltanlagen*, Dresden, Deutschland, 06./07.11.2013

Dickert, J.:

Energy Transition Program in Germany. Visit of the Moscow Power Engineering Institute, Dresden, Deutschland, 15.04.2013

Heß, T.:

Smart Grid Research Activities at Technische Universität Dresden. Visit of the Moscow Power Engineering Institute, Dresden, Deutschland, 15.04.2013

Meyer, Jan:

Guidelines for Power Quality Monitoring – Intermediate Results of CIGRE/CIRED WG C4.112. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Meyer, Jan:

Guidelines for Power Quality Monitoring – Intermediate Results of CIGRE/CIRED WG C4.112. International VII Symposium about Quality of the Electric Energy - SICEL 2013, Medellin, Colombia, 27.-29.11.2013

Meyer, Jan:

Harmonic Emission Limit Assessment in HV networks. Joint LTU/UCO/CTH/TUD Workshop: *Power Quality in future networks*, Technische Universität Dresden, Dresden, Deutschland, 11.-12.9.2013

Meyer, Jan:

Immer harmonisch ? - Zur Oberschwingungssituation im Niederspannungsnetz. FNN Fachkongress Netztechnik 2013, Nürnberg, Deutschland, 4.-5.12. 2013

Meyer, Jan:

Overview of existing methodologies and practices for PQ monitoring. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Meyer, Jan:

Power Quality Challenges in Future Distribution Networks. International Symposium on Power Electronics Ee2013, Novi Sad, Serbien, 30.10.-1.11.2013

Meyer, Jan:

Power Quality in Smart Grids. International Symposium on Power Electronics Ee2013, Novi Sad, Serbien, 30.10.-1.11.2013

Meyer, Jan:

Power Quality Monitoring in Smart Grids. IEEE PES General Meeting, Vancouver, Canada, 21.-25.7.2013

Meyer, Jan:

Reasons for Monitoring. IEEE PES General Meeting, Vancouver, Canada, 21.-25.7.2013

Meyer, Jan:

Trends in harmonics below and above 2 kHz. International VII Symposium about Quality of the Electric Energy - SICEL 2013, Medellin, Colombia, 27.-29.11.2013

Meyer, Jan:

Tutorial: Harmonic Aspects in Future Distribution Networks. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Schegner, P:

Energiewende Sachsen im transnationalen Kontext Strategien und Lösungsansätze für ein nachhaltigeres Energieversorgungssystem. Vorstellung des ESF-Projektes Enersax in der Staatskanzlei, Dresden, Deutschland, 27.03.2013

Schegner, P.:

Presentation of the Technische Universität Dresden and the Faculty of Electrical & Computer Engineering. Visit of the Moscow Power Engineering Institute,

Dresden, Deutschland, 15.04.2013

Schegner, P.; Erdmann, N.; Heß, T.; Dickert, J.:

Technical Aspect of the German Energy Transition Program. International Summer School *SusES future*,

Dresden, Deutschland, 23.-28.09.2013

Stiegler, R.; Meyer, J.:

Übertragungsverhalten von Messwandlern bei höheren Frequenzen. OMICRON Diagnosewoche,

Dornbirn, Österreich, 22.-26.4.2013

Werner, J.; Meinzenbach, A.:

The Local Virtual Power Plant – A Contribution to the Integration of Renewable Energies. ZET Workshop,

Dresden, Deutschland, 17.09.2013

Veröffentlichungen

Blanco, A. M.; Stiegler, R.; Meyer, Jan:
Power Quality Disturbances caused by Modern Lighting Equipment (CFL and LED). PowerTech 2013,
Grenoble, Frankreich, 16.-20.6.2013

Blanco, A. M.; Yanchenko, S.; Meyer, Jan; Schegner, P.:
Impact of Supply Voltage Distortion on the Harmonic Emission of Electronic Household Equipment. International VII Symposium about Quality of the Electric Energy - SICEL 2013,
Medellin, Colombia, 27.-29.11.2013

Chakravorty, D.; Meyer, Jan; Schegner, P.:
Aspects of Network Harmonic Impedance Modeling in High Voltage Distribution Networks. IEEE PES General Meeting,
Vancouver, Canada, 21.-25.7.2013

Dickert, J.; Domagk, M.; Schegner, P.:
Benchmark Low Voltage Distribution Networks Based on Cluster Analysis of Actual Grid Properties. PowerTech 2013,
Grenoble, Frankreich, 16.-20.6.2013

Domagk, M.; Meyer, Jan; Schegner, P.; et. al.:
Influence of aggregation intervals on power quality assessment according to EN 50160. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution,
Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Domagk, M.; Schegner, P.:
Energiewende – Notwendigkeit von Speichern und technologische Ansätze. DKV-Statusbericht Nr. 24,
Dresden, Deutschland, 19.09.2013

Druml, G.; Schegner, P.:
Fast Selective Earth Fault Localization Using the new Fast Pulse Detection Method. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution,
Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Gallo, D.; Langella, R.; Testa, A.; Hernández, J. C.; Papič, I.; Blažič, B.; Meyer, Jan:
Case Studies on Large PV Plants: Harmonic Distortion, Unbalance and their Effects. IEEE PES General Meeting,
Vancouver, Canada, 21.-25.7.2013

Heß, T.; Schegner, P.; Hable, M.:

Improved Load Management Algorithm for Future Network Requirements. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Jäschke, C.:

Berechnung der Hauptinduktivität von Stromwandlern unter Berücksichtigung von Wirbelströmen. Dresdener Kreis 2013, Duisburg, Deutschland, 03.-05.04.2013

Klatt, M.; Koch, A.; Meyer, Jan; Schegner, P.; Myrzik, J.; Körner, C.; Darda, T.; Eberl, G.:

Emission levels above 2 kHz - Laboratory results and survey measurements in public low voltage grids. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Meyer, Jan; Hähle, S.; Schegner, P.:

Impact of higher frequency emission above 2kHz on electronic mass-market equipment. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Meyer, Jan; Stiegler, R.; Schegner, P.:

Frequency response characteristic of MV voltage transformers and their accurate measurement up to 2.5/3 kHz. OMICRON Instrument Transformer and Measurement Forum, Boston, USA, 16.09.2013

Meyer, Jörg; Schegner, P. Erlich, I., et al:

Wind Turbine Negative Sequence Current Control and its Effect on Power System Protection. IEEE PES General Meeting, Vancouver, Canada, 21.-25.7.2013

Möller, F.; Meyer, Jan; Schegner, P.:

Auswirkung der Ladung von Elektrofahrzeugen auf die Strom- und Spannungsqualität. Internationaler ETG-Kongress, Berlin, Deutschland, 5.-6.11.2013

Schegner, P. et al:

Regionales Virtuelles Kraftwerk – Eine Ist-Stand-Analyse. DVGW energie | wasser-praxis, ISSN-Nr.: 1436-6134, April 2013

Schegner, P.:

Sternpunktbehandlung und Erdung in Kabelnetzen. Kabelseminar der Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland, 30.10.2013

Schegner, P.; Dieu, V. N.:

Augmented Lagrange Hopfield network initialized by quadratic programming for economic dispatch with piecewise quadratic cost functions and prohibited zones. Elsevier, ISSN 1566-4946 Volume 13, issue 1, Seite 292 – 301,
Januar 2013

Schegner, P.; Dieu, V. N.; Ongsakul, W.:

Pseudo-Gradient Based Particle Swarm Optimization Method for Non-convex Economic Dispatch. In: Zelinka, I. (Hrsg): *Power, Control and Optimization*, Springer International Publishing Switzerland, 2013

Schmidt, U.:

Algorithm for determination of frequency-dependent cable system parameters for calculations in the time domain. EEUG-Meeting 2013, Dublin, Irland, 24.-26.09.2013

Schubert, D. K.; Meyer, T.; von Selasinsky, A.; Schmidt, A.; Thuß, S.; Erdmann, N.; Erndt, M.:

Der Stromausfall in München-Einfluss auf Zahlungsbereitschaften für Versorgungssicherheit und auf die Akzeptanz Erneuerbarer Energien. Schriften des Lehrstuhls für Energiewirtschaft, 01.10.2013

Sperling, E.; Schegner, P.:

A Possibility to Measure Power Quality with RC-Divider. CIRED 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm, Schweden, 10.-13.6.2013

Werner, J.; Schegner, P.; Seifert, J.:

The Combined Energy Lab – A Test Environment for Testing μ CHPs in Grid-Connected and Islanded Mode of Operation. IEEE PES General Meeting, Vancouver, 21.07. - 25.07.2013

3.2 Lehrstuhl Hochspannungs- und Hochstromtechnik

3.2.1 Forschungsschwerpunkte

Elektrische Kontakte und Verbindungen

Untersuchen der Alterung von ruhenden elektrischen Verbindungen in der Elektroenergietechnik seit 30 Jahren:

- Ermitteln der Grenztemperatur von elektrischen Kontakten und Verbindungen mit beschichteten und unbeschichteten Leitern
- Langzeitverhalten von Steckverbindungen mit Kontaktlamellen z. B. in der Photovoltaik und bei Hochstromanwendungen
- Untersuchen von Armaturen für Hochtemperatur-Freileitungsseile
- Langzeitverhalten von Ganzbereichssicherungen bei erhöhter Umgebungstemperatur
- Ermitteln der physikalischen Mechanismen der Alterung durch Interdiffusion, Kraftabbau, Fremdschichtbildung, Reibverschleiß und Elektromigration
- Modellieren und Berechnen der Alterung von elektrischen Verbindungen und Kontakten

Untersuchen der Stromverteilung und Erwärmung elektrischer Betriebsmittel

Untersuchen der Stromverteilung und Erwärmung elektrischer Betriebsmittel:

- Experimentelle Untersuchungen zur Erwärmung von Betriebsmitteln der Elektroenergietechnik
- Berechnen des thermischen Verhaltens von Betriebsmitteln der Elektroenergietechnik mit der Wärmenetzmethode
- Grundlagenversuche zum Wärmeübergang in Gasen und Flüssigkeiten
- Berechnen des Wärmeübergangs durch Konvektion in Gasen und Flüssigkeiten mit CFD
- Experimentelle Untersuchungen zur Stromverteilung bei Mehrleiteranordnungen
- Berechnen der Stromverteilung bei Mehrleiteranordnungen im Wechsel- und Drehstromsystem unter Berücksichtigung des Proximity- und des Skin-Effekts

Hochspannungstechnik

Isolierungen für Hochspannungs-Gleichstromübertragungen:

- Untersuchen des Durchschlagverhaltens von Öl-Papier-Isolierungen
- Ermitteln der Feldverteilung unter Berücksichtigung der Ionendriftvorgänge
- Untersuchen von Druckgasisolierungen bei inhomogenen Temperaturverteilungen
- Dimensionieren von Abschirmelektroden für Freiluftisolierungen

Hochspannungsmaschinenisolierungen:

- Belastung und Lebensdauer der Windungsisolierung bei Impulsspannung
- Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Verhalten des Endenglimmschutzsystems

Untersuchungen zu Elektroimpulsverfahren zur Gesteinszerstörung

3.2.2 Forschungsprojekte



Karsten Backhaus, Dipl.-Ing.

Das dielektrische Verhalten der Öl-Papier-Isolierung bei Belastung mit hoher Gleichspannung

Für die Hochspannungsgleichstromübertragung mit Thyristor-Gleichrichtern bedarf es Leistungstransformatoren mit nicht geerdeten Sekundärwicklungen zur Speisung der Zwölf-Puls-Brücken. Während des Betriebs wird diese mit einer Mischspannung aus AC und DC belastet. Die Prüfung der Transformatoren erfolgt mit jeder Spannungsform separat und bedarf daher einer besonderen Dimensionierung.

Der Stand der Technik hierbei ist eine auf den Verhältnissen der Permittivität und der Leitfähigkeit der einzelnen Isolierwerkstoffe beruhenden RC-Netzwerk-Berechnung bzw. Feldberechnung mit FEM. In [1] und [2] wurde gezeigt, welche Widersprüche zwischen Experiment und Berechnungsergebnis gemäß der genannten Methoden bestehen. Obwohl die Modellierung des dielektrischen Verhaltens mit Hilfe von Widerstands- und Kapazitäts-Gliedern aufgrund von Analogien ihre Berechtigung besitzt, werden dennoch die notwendigen Kenngrößen mit Hilfe einer Kurvenanpassung bestimmt und nicht aus physikalischen, messbaren Kenngrößen abgeleitet.

Das dielektrische Verhalten des Isolieröls und -papiers wird maßgeblich durch die Bewegung der intrinsischen, also Isolierstoff eigenen Ladungsträger und den an den Elektroden injizierten Ladungsträgern bestimmt. Es ist daher von vier Typen, also positive und negative Ladungsträger beider Gruppen, auszugehen. Ein entsprechendes Ladungsträgermodell ist in Bild I dargestellt.

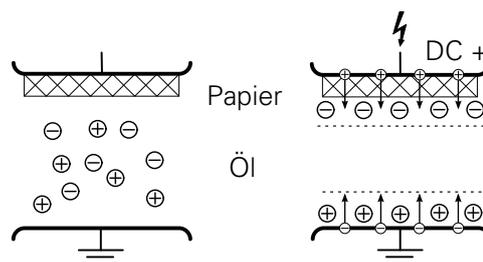


BILD I: LEITFÄHIGKEITSMODELL DES ISOLIERÖLS BEI BELASTUNG MIT HOHER GLEICHSPANNUNG

Diese Driftprozesse innerhalb des Isolieröls können mit Hilfe der Poisson-Nernst-Planck-Gleichung (PNP), einem Differentialgleichungssystem zweiter Ordnung, modelliert werden. Die Poisson-Gleichung (1) beschreibt das elektrische Feld unter der Einwirkung der Summe aller Ladungsträger des Isolieröls mit ihren jeweiligen Eigenladungen.

$$\Delta\varphi = \frac{e}{\varepsilon_0\varepsilon_0} \sum_i z_i n_i \quad (1)$$

Die Nernst-Planck-Gleichungen (2) beschreiben als zeitabhängige Konzentrationsänderung das Driftverhalten im elektrischen Feld mit einer bestimmten Mobilität μ_i und die Diffusion als meist gegenläufigen Vorgang mit dem Diffusionskoeffizienten D_i pro Ladungsträgerspezies.

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = \nabla(z_i \mu_i n_i \nabla\varphi - D_i \nabla \nabla n_i) + \sum r_j \quad (2)$$

Mit der Summe der Quellterme der rechten Seite lassen sich Ionisations- und Rekombinationsprozesse beschreiben.

Bild II zeigt die qualitative Feldstärkeverteilung innerhalb eines Öl-Papier-Spalts nach der RC- und PNP-Methode. Im Falle der RC-Methode wird aufgrund der prinzipiellen Spannungsteilerrechnung nach Permittivitäts- und Leitfähigkeitsverhältnis ein integraler Feldstärkebetrag für den gesamten Bereich eines Isolierstoffs bestimmt.

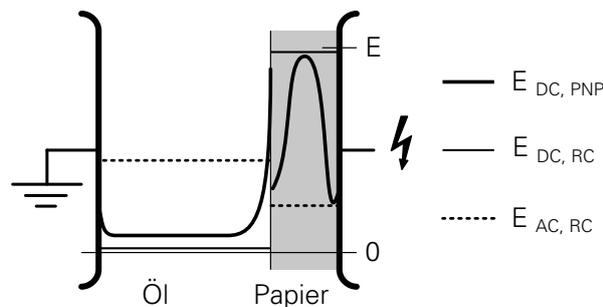


BILD II: QUALITATIVE FELDSTÄRKEVERTEILUNG IM ÖL-PAPIER-SPALT NACH RC- UND PNP-METHODE

Im Falle der PNP-Methode ergibt sich ein differenzielles Ergebnis. Jeweils vor Elektroden und Barrieren tritt ein Ladungsträgerstau auf, welcher aufgrund der entgegengesetzten Ladung eine Feldstärkeüberhöhung bewirkt. Im Papier besitzen die Ladungsträger wegen seines festen Zustands eine deutlich geringere Mobilität. Das führt zu einer höheren Ladungsträgerdichte innerhalb des Papiers. Die zwei Fronten der entgegengesetzt geladenen Ladungsträger verursachen in ihrem Rekombinationsbereich innerhalb des Papiers eine starke Feldstärkeüberhöhung.

Polarisation, Leitfähigkeit und Durchschlagverhalten der Öl-Papier-Isolierung werden so qualitativ richtig berechnet. Mit weiterführenden Experimenten werden die Materialparameter bestimmt.

- [1] K. Backhaus, J. Speck, S. Großmann, R. Fritsche, *Ion Concentration triggered Breakdown of Oil-Paper Insulation at high DC Voltage and Evaluation by FEM*. 18th International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul 2013.
- [2] K. Backhaus, J. Speck, S. Großmann, R. Fritsche, *Grenzflächenpolarisation in der Öl-Papier-Isolierung bei Belastung mit hoher Gleichspannung*. ETG-Grenzflächen-tagung, Dresden 2013.



Sebastian Dreier, Dipl.-Wi.-Ing.

Grundlagenuntersuchungen zum Einfluss von Fremdschichten auf elektrische Kontakte

Verbindungen der elektrischen Energietechnik werden in großer Zahl in elektrischen Versorgungsnetzen und Betriebsmitteln eingesetzt. Bedingt durch die große Stückzahl und die oftmals exponierten Einsatzbereiche, muss die Zuverlässigkeit der Verbindungen über die gesamte Lebensdauer gewährleistet sein. Der steigende Energiebedarf und der großflächige Einsatz elektrischer Erzeugungs-, Verteilungs- und Übertragungsanlagen in Wüsten, Meeresgebieten oder tropisch feuchten Regionen erfordert grundlegende Kenntnisse über das Langzeitverhalten der Verbindungen bei derartigen Bedingungen. Ein wesentlicher Alterungsmechanismus elektrischer Verbindungen ist das Bilden von Fremdschichten infolge von Oxidation und Korrosion. Mit einer geeigneten Versuchsanordnung wird untersucht, wie sich die Bedingungen der umgebenden Umwelt auf die Fremdschichtbildung und damit auf die Alterung der Verbindungen auswirken. Aufbauend auf den Erfahrungen aus Langzeituntersuchungen an technischen Verbindungen wurde eine Versuchsanordnung für Grundlagenversuche entworfen. Kontaktpartner aus Rundstäben werden als gekreuzte Zylinder mit einer definierten Kraft gegeneinander gedrückt. Die Kraft von 200 N wird durch eine Feder erzeugt und über einen Bügel auf den Kontakt übertragen (Bild I).

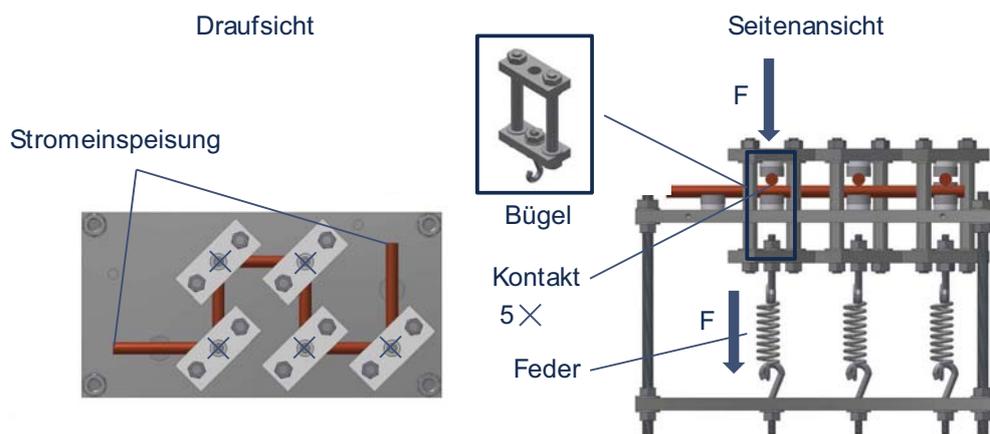


BILD I: DRAUFSICHT UND SEITENSICHT EINER VERSUCHSANORDNUNG FÜR 5 KONTAKTPAARE GEKREUZTER ZYLINDER AUS KUPFER

Die Werkstoffe der verwendeten Rundstäbe sind Kupfer CW004A, Aluminium EN AW 1050 und die Aluminiumlegierung EN AW 6060. Die Rundstäbe aus Kupfer werden ohne und mit Beschichtungen (Nickel, Zinn, Silber) eingesetzt. Mit Bezug zur DIN EN 62271-1:2009 wird das Langzeitverhalten der Kontakte bei einer Temperatur von 90 °C und für ausgewählte Werkstoffe

zusätzlich bei einer Temperatur von 200 °C untersucht. Die Versuche wurden im Labor, in einer tropischen Atmosphäre im Botanischen Garten der TU Dresden und in einer Freiluftumgebung aufgebaut.

Die bisher gemessenen Kontaktwiderstände (Bild II) zeigen den Abschluss der Formierungsphase nach ca. 100 h, in der die Abnahme der Kontaktwiderstände bei allen eingesetzten Werkstoffen mit und ohne Beschichtung festgestellt werden konnte. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die verwendete Feder dem Kraftabbau entgegenwirkt. Damit können sich die elektrisch wirksamen Kontaktflächen anfänglich noch vergrößern, da die Werkstoffhärte mit der Temperatur abnimmt. Dieser Effekt war bei den mit Nickel beschichteten Kupferzylindern am stärksten ausgeprägt.

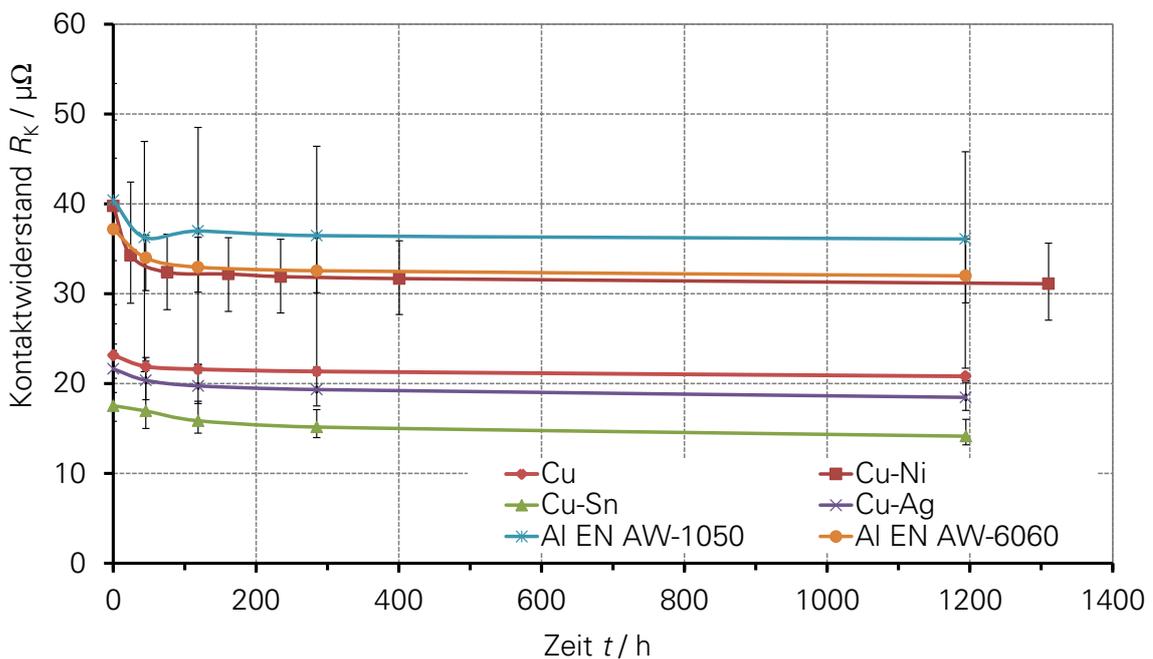


BILD II: ZEITLICHER VERLAUF DER KONTAKTWIDERSTÄNDE GEKREUZTER ZYLINDER IN DEN LABORVERSUCHEN BEI 90 °C

Für weitere Untersuchungen soll die mechanisch verformte Kontaktfläche mit einer geeigneten Methode bestimmt und mit zuvor berechneten Werten verglichen werden. Für die mechanisch verformte und die elektrische wirksame Kontaktfläche ist, unter Berücksichtigung der Mikrokontakte, ein geeignetes Berechnungsmodell für Einpunkt- und Mehrpunktkontakte zu entwickeln. Der Einfluss der Alterung auf die Mikrokontakte soll im Modell berücksichtigt werden.



Torsten Fuhrmann, Dipl.-Ing.

Alterung von Schraubenverbindungen mit vernickelten und versilberten Stromschienen

Für eine langlebige elektrische Verbindung ist ein geringer Anfangswert des Verbindungswiderstandes erforderlich. Um dies bereits bei der Montage zu gewährleisten, werden die Kontaktflächen der Leiter häufig mit z. B. Silber oder Nickel beschichtet. Silber hat eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit und bildet in atmosphärischer Luft nur dünne und weiche Sulfidschichten auf der Oberfläche. Bei Schraubenverbindungen mit Stromschienen wird im Allgemeinen eine ausreichend hohe Verbindungskraft eingestellt, sodass diese weichen Schichten durchbrochen werden. In bisherigen Langzeitversuchen an Schraubenverbindungen mit versilberten Stromschienen wurde festgestellt, dass die Vorbehandlung der Kontaktflächen mit einem fusselfreien Tuch und Ethanol ausreichend ist. Nickel bildet unter atmosphärischer Luft eine dünne aber harte und dichte Oxidschicht auf der Oberfläche, die das Ausbilden von großflächigen Mikrokontakten verhindern kann und deshalb vor der Montage entfernt werden sollte.

Es wurden Untersuchungen zur Vorbehandlung von Schraubenverbindungen mit vernickelten und versilberten Stromschienen aus Aluminium durchgeführt und anschließend die Ergebnisse miteinander verglichen. Untersucht wurden Schraubenverbindungen, die bei 140 °C im Wärmeschrank (WS) und stromdurchflossen (SD) abhängig von der Zeit gealtert wurden. Die Stromschienen aus einer Aluminiumlegierung wurden galvanisch versilbert oder galvanisch sowie chemisch vernickelt (Tabelle I). Die Oberfläche der vernickelten Stromschienen wurde je nach Vorbehandlung mit einem Schleifvlies (SV) bearbeitet. Alle Verbindungen wurden mit einem sauberen und fusselfreien Tuch und Ethanol gereinigt.

TABELLE I: UNTERSUCHUNGEN ZUR VORBEHANDLUNG BESCHICHTETER KONTAKTFLÄCHEN

Verbindung	Beschichtung	Versuch	Vorbehandlung
1	Chemisch Ni	Wärmeschrank	- Tuch mit Ethanol
2	Galvanisch Ni		
3	Chemisch Ni	Wärmeschrank	- Schleifvlies
4	Galvanisch Ni		- Tuch mit Ethanol
5	Chemisch Ni	Stromdurchflossen	- Schleifvlies
6	Galvanisch Ni		- Tuch mit Ethanol
7	Chemisch Ag	Stromdurchflossen	- Tuch mit Ethanol

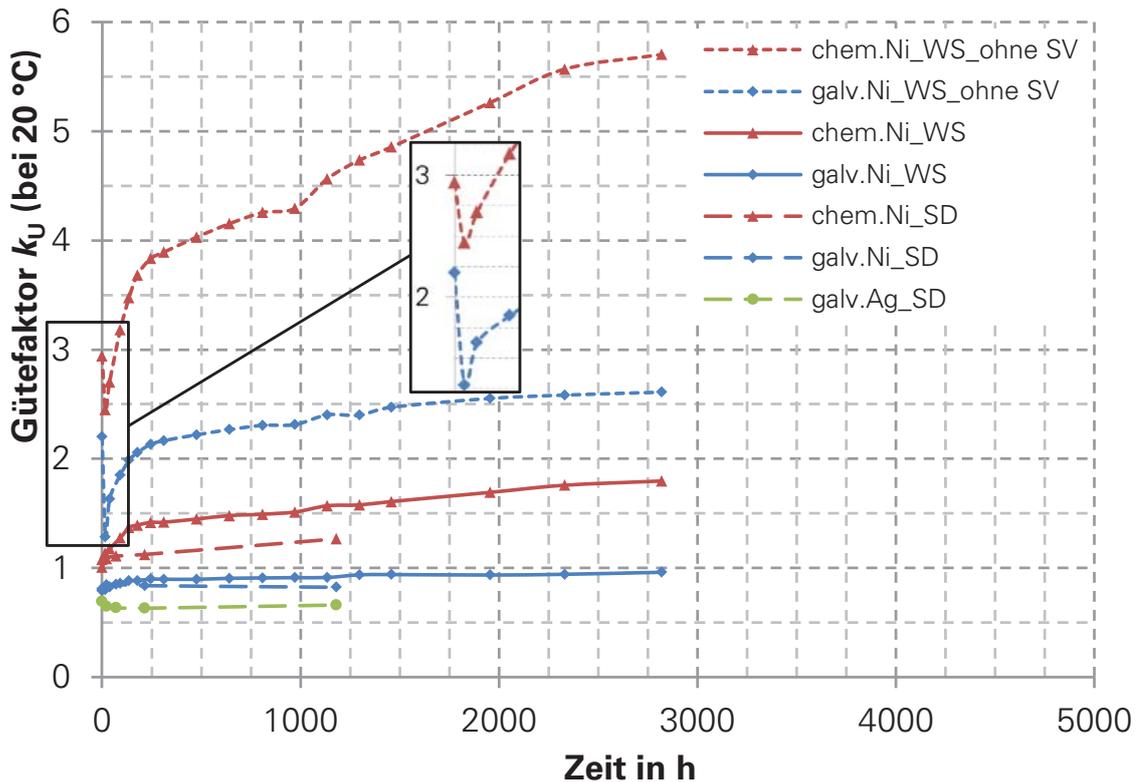


BILD I: GÜTEFAKTOR ABHÄNGIG VON DER BESCHICHTUNGSART UND DER BETRIEBSZEIT (GEALTERT BEI 140 °C)

Aufgrund der hohen elektrischen Leitfähigkeit und der weichen Fremdschichten wird bei Schraubenverbindungen mit versilberten Stromschienen ein sehr niedriger Anfangswert des Gütefaktors erreicht (Bild I). Die Anfangswerte der Gütefaktoren bei Schraubenverbindungen mit vernickelten Stromschienen sind aufgrund des höheren spezifischen elektrischen Widerstandes des Nickels höher im Vergleich zu denen mit versilberten Kontaktflächen. Des Weiteren ist verfahrensbedingt bei chemisch abgeschiedenem Nickel Phosphor enthalten, das die elektrische Leitfähigkeit des Nickels zusätzlich verringert und die Härte erhöht. Dadurch können wahrscheinlich erst bei höheren Verbindungskräften großflächigere Mikrokontakte in der Verbindungsebene entstehen. Der Gütefaktor von Schraubenverbindungen mit chemisch vernickelten Stromschienen ist damit höher als der bei galvanisch vernickelten. Es ist zu erkennen, dass nach der Vorbehandlung der Kontaktflächen bei vernickelten Stromschienen mit Schleifvlies deutlich geringere Gütefaktoren erreicht wurden. Bei den Verbindungen, bei denen die Kontaktpartner nicht mit Schleifvlies vorbehandelt wurden, verringerten sich die Gütefaktoren in den ersten Stunden stark und erhöhten sich danach wieder (Bild I). Die genaue Ursache für diesen Effekt wird derzeit untersucht. Dazu werden die physikalischen Eigenschaften der Schicht, des Grundmaterials sowie der Einfluss des Nickel(II)-oxids und des Verbindungssystems betrachtet.



Michael Gatzsche, Dipl.-Ing.

Einfluss von Schmierfett auf das Langzeitverhalten von Hochstrom-Steckverbindungen

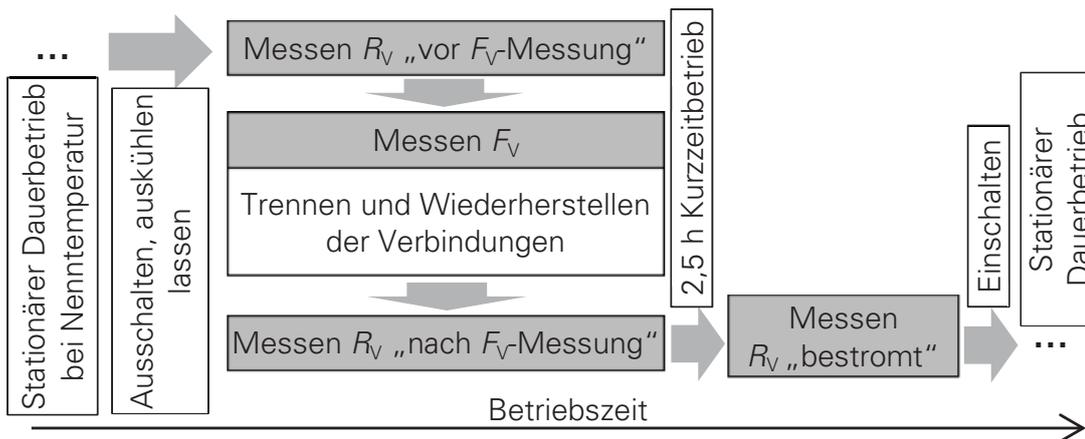
Steck- und Gleitverbindungen mit Bemessungsströmen im Kiloampere-Bereich sind ein wichtiger Bestandteil des Elektroenergieversorgungssystems. Sie werden eingesetzt, wenn die Kontaktpartner im Betrieb regelmäßig getrennt oder gegeneinander verschoben werden, beispielsweise bei Schaltvorgängen oder durch thermische Dehnung. Steckverbindungen mit versilberten Kontaktflächen erreichen Dauerbetriebstemperaturen von 105 °C (Hochspannungsschaltanlagen entsprechend [1]) und mehr (Sonderanwendungen). Die elektrische Verbindung zwischen Stecker und Buchse wird mit versilberten, federnden Kontaktelementen realisiert. Um Schiebekraft und Verschleiß zu reduzieren, wird auf die Kontaktflächen Schmierfett aufgetragen. Elektrisch gesehen ist der Schmierfettfilm eine Fremdschicht, die den Verbindungswiderstand erhöhen kann.

Um das Langzeitverhalten verschiedener Kontaktlamellen bei realistischen Randbedingungen zu untersuchen, wurden Langzeitversuche mit stromdurchflossenen, geschmierten Modellsteckverbindungen aufgebaut. Verbindungswiderstand R_V und Verbindungskraft F_V werden regelmäßig gemessen (Bild Ia)). Für die Kraftmessung werden die Verbindungen vollständig getrennt und anschließend wieder hergestellt. Vor dem Trennen liegt der Verbindungswiderstand im Allgemeinen unter dem vom Kontaktelementhersteller angegebenen Bemessungswert (Bild Ib)). Direkt nach dem Wiederherstellen ist der Verbindungswiderstand deutlich erhöht (Bild Ib)). Bei der anschließenden Kurzeiterwärmung (2,5 h) erreicht die Verbindung ca. 85 % ihrer Nenn-Übertemperatur, die Erhöhung des Verbindungswiderstands ist dann fast vollständig verschwunden (Bild Ib)).

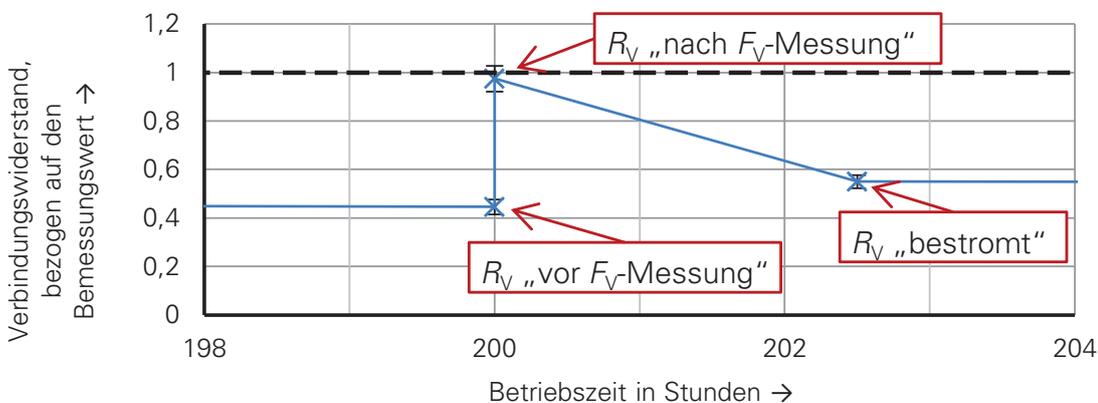
Das Trennen und Wiederherstellen der Verbindung erfolgt bei Raumtemperatur, der Schmierfettfilm ist hochviskos (zähflüssig) und es kann nur eine relativ kleine wirksame metallische Kontaktfläche entstehen. Nach dem Einschalten wird die Viskosität des Schmierfetts mit zunehmender Verbindungstemperatur immer kleiner [2]. Durch die von den Kontaktelementen aufrechterhaltene Verbindungskraft wird das Schmierfett bei der Erwärmung aus dem Bereich der Mikrokontakte verdrängt, ein deutlich kleinerer Verbindungswiderstand ist die Folge. Dieses Verhalten ist bei regelmäßigem Trennen und Wiederherstellen bisher bis zu einer Betriebszeit von über 1000 h reproduzierbar (Bild II). Die Versuche werden mindestens bis 10.000 h fortgesetzt.

Die Ergebnisse zeigen, dass Widerstandsmessungen bei geschmierten Steckverbindungen nach einem Steckvorgang überhöhte und für den Dauerbetrieb nicht aussagekräftige Werte liefern können. Die Norm [1] erlaubt

daher, eine Erwärmungsprüfung durchzuführen, falls nach dem Prüfen der Steckzyklen erhöhte Widerstände gemessen werden.



(a) Schema



(b) Beispiel für die Messwerte

BILD I: VORGEHEN BEIM MESSEN VON VERBINDUNGSWIDERSTAND R_V UND VERBINDUNGSKRAFT F_V DER MODELLVERBINDUNGEN

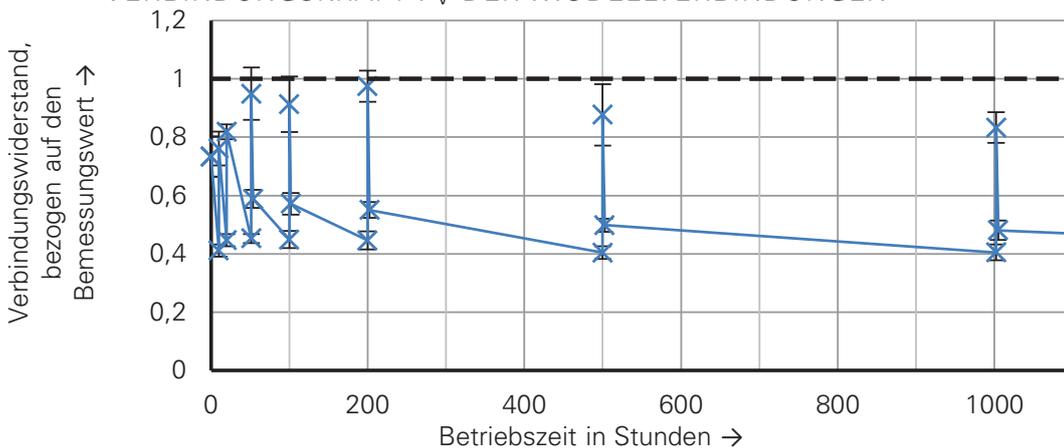


BILD II: VERBINDUNGSWIDERSTAND, ABHÄNGIG VON DER BETRIEBSZEIT, KONTAKTLAMELLE MULTI-CONTACT LA-CU, VERSUCHSTEMPERATUR 150 °C

[1] IEC 62271-1:2007+A1:2011: *High-voltage switchgear and controlgear - Part 1: Common specifications*, 2007.

[2] W. J. Bartz, *Schmierfette*. 1. Auflage. Expert-Verlag, Renningen 2000.



Maria Hering, Dipl.-Ing.

Untersuchungen zum Verhalten von Isolatoren in gasisolierten Systemen bei Gleichspannungsbelastung

Die Technologie der Hochspannungsgleichstromübertragung zum Transport elektrischer Energie hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Im Vergleich zu Wechselspannungsanwendungen wird das Gleichspannungsfeld von zum Teil temperaturabhängigen Leitfähigkeiten der Isoliermaterialien bestimmt.

Während des Betriebes entsteht um den stromführenden Leiter eine inhomogene Temperaturverteilung entlang der Isolatoren und im Gasraum. Um den Einfluss der Temperatur zu verstehen, müssen beide Phänomene getrennt untersucht werden. Dazu werden zylindrische Prüfkörper verwendet. Speziell entworfene Elektroden garantieren die erforderliche Feldstärkeverteilung (Bild I). Der gewünschte Temperaturgradient kann mit integrierten Heizelementen eingestellt werden.



BILD I: PRÜFAUFBAU OHNE GEHÄUSE

Durch die abgesenkte Gasdichte am Leiter ergibt sich eine geringere Durchschlagspannung. Die an der experimentellen Versuchsanordnung durchgeführten Messungen bestätigen die in [1] beschriebene Methode, um die Durchschlagspannung eines gasisolierten Systems mit erwärmten Elektroden zu berechnen. Die dazu notwendigen Eingangsgrößen, wie die Verteilungen des elektrischen Feldes und der Gasdichte können mit FEM-Berechnungen ermittelt werden. Die Durchschlagspannung kann dann für den kalten und erwärmten (d. h. Betriebs-) Zustand nach dem Streamerkriterium ermittelt werden.

Bei der Messung der Durchschlagspannung konnte bei negativer Gleichspannung eine Konditionierung beobachtet werden, die bei positiver Gleichspannung nicht aufgetreten ist (Bild II). Dabei steigt die Durchschlagspannung beginnend beim Erstdurchschlag um ca. 15 % an. Dieser Effekt kann nicht auf ein „Wegbrennen“ von Partikeln zurückgeführt werden, da er auch

reproduzierbar auftritt, wenn das Gefäß zwischen den Durchschlagsserien nicht geöffnet wird. Liegt zwischen den Serien eine ausreichend lange Pausenzeit (im Stundenbereich), so ist die offensichtlich durch vorherige Durchschläge erhöhte Durchschlagsspannung wieder geringer. Eine höhere Festigkeit bei negativer Gleichspannung kann auch durch vorangehende positive Durchschläge erreicht werden. Ein schneller Polaritätswechsel verändert die Höhe der Durchschlagsspannung nicht. Erst nach einer Pausenzeit von etwa drei bis fünf Stunden stellt sich dann wieder die geringere Festigkeit ein.

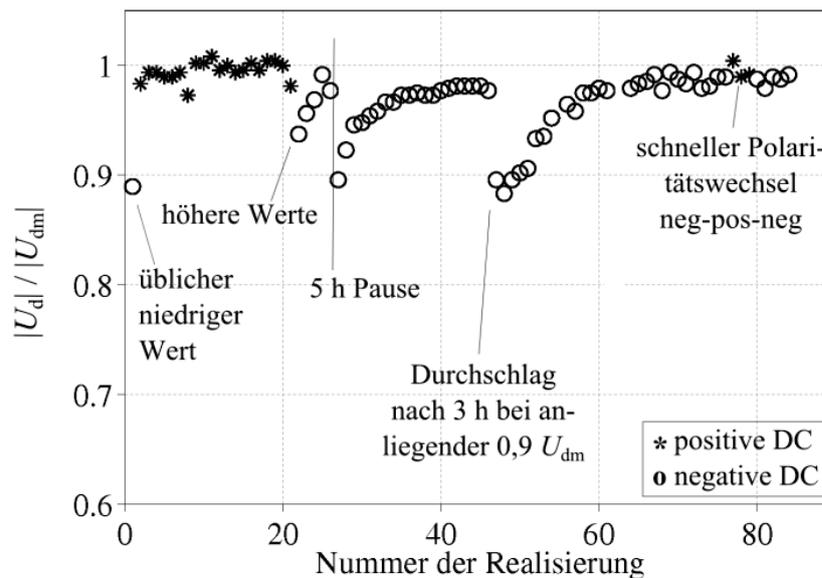
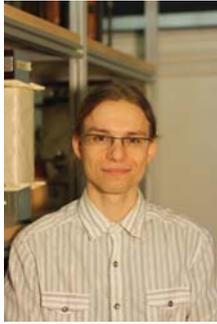


BILD II: URLISTE DER DURCHSCHLAGVERSUCHE (BEZOGEN AUF DEN EINGESCHWUNGENEN MITTELWERT U_{dm})

Während des Durchschlages entstehen Zersetzungsprodukte und Ladungsträger. Negative Ionen in SF_6 sind immer vorhanden, positive Ionen werden allerdings erst durch Durchschlagereignisse erzeugt. Rekombinationsprozesse dieser positiven Ladungsträger mit Elektronen behindern dann die Entstehung neuer Entladungen, da weniger Anfangselektronen vorhanden sind. Außerdem können isolierende Oxidschichten auf den Aluminiumelektroden dazu führen, dass im elektrischen Gleichfeld sich bewegende Raumladungen als Schichten vor den Elektroden, an denen sie eben nicht sofort rekombinieren können, ansammeln. Um den Effekt für Folgeversuche zum Einfluss der temperaturabhängigen Leitfähigkeit auf das Überschlagverhalten von Isolatoren bei Gleichspannung und einer inhomogenen Temperaturverteilung vollständig zu klären, sind weitere Untersuchungen notwendig.

- [1] M. Hering, J. Speck, S. Großmann, U. Riechert, *Investigation of the Temperature Influence on the Breakdown Voltage in Gas Insulated Systems under DC Voltage Stress*. 18th International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul 2013.
- [2] M. Hering, J. Speck, S. Großmann, U. Riechert, *Untersuchungen zum Verhalten von Isolatoren in gasisolierten Systemen bei Gleichspannungsbelastung*. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliertsystemen, Dresden 2013.



Christian Hildmann, Dipl.-Ing.

Experimentelle Untersuchungen des Langzeitverhaltens von Armaturen für Hochtemperatur-Leiterseile

Um den in Deutschland erforderlichen Netzausbau zu begrenzen, werden Maßnahmen zur Optimierung des bestehenden Übertragungsnetzes mit Vorrang behandelt [1]. Dazu zählt u. a. das Umbeseilen bestehender Freileitungen mit Hochtemperatur-Leiterseilen (HT-Seile). Die höhere Belastung der HT-Seile führt zu einer ebenfalls höheren Beanspruchung der Armaturen. Der Einsatz von Armaturen für HT-Seile ist für den Anwender risikobehaftet, da es zum Nachweis der technischen Sicherheit (§ 49 EnWG) bisher keine Normen für Typprüfungen gibt. Daher wird das elektrische Langzeitverhalten der Armaturen für HT-Seile experimentell untersucht. Die betrachteten Armaturen sind Pressverbinder und Pressabspannklemmen für drei verschiedene HT-Seile und das konventionelle ACSR-Seil (Tabelle I).

TABELLE I: KENNDATEN DER UNTERSUCHTEN HT-SEILE

Seil	Fläche (Leiter/Kern) mm^2	Betriebstemperatur	Betriebsstrom
ACSS	(362/59) mm^2	200 °C	1380 A
ACCR	(403/64) mm^2	210 °C	1710 A
ACCC	(458/60) mm^2	175 °C	1550 A
ACSR	(382/49) mm^2	80 °C	705 A

ACSS ... **a**luminum **c**onductor **s**teel **s**upported
 ACCR ... **a**luminum **c**onductor **c**omposite **r**einforced
 ACCC ... **a**luminum **c**onductor **c**omposite **c**ore
 ACSR ... **a**luminum **c**onductor **s**teel **r**einforced (Aluminium/Stahl-Seil)

Der wesentliche Unterschied der HT-Seile zum ACSR-Seil ist der verwendete Leiterwerkstoff. Das ACSR-Seil besitzt Drähte aus hartgezogenem Aluminium Al99,5. Hingegen bestehen die Drähte des ACCC- und des ACSS-Seils aus weichgeglühtem Aluminium Al99,5. Der Leiter des ACCR-Seils besteht aus einer temperaturbeständigen Aluminium-Zirkonium-Legierung. Die aus diesem Werkstoff hergestellten Drähte werden hartgezogen.

In den Langzeitversuchen sind die Armaturen dauerhaft stromdurchflossen, so dass sich die zulässige Betriebstemperatur am Leiterseil einstellt. Dieser Art der Belastung liegt die Annahme zugrunde, dass die wirkenden Alterungsmechanismen insbesondere von der Temperatur abhängen. Da es sich um zugfeste Armaturen handelt, wird die Hälfte der untersuchten Armaturen jedes Seils zusätzlich mit einer Zugspannung beansprucht. Die Zugkraft

beträgt bei Raumtemperatur 20 kN. Die andere Hälfte der Armaturen wird nicht mechanisch belastet.

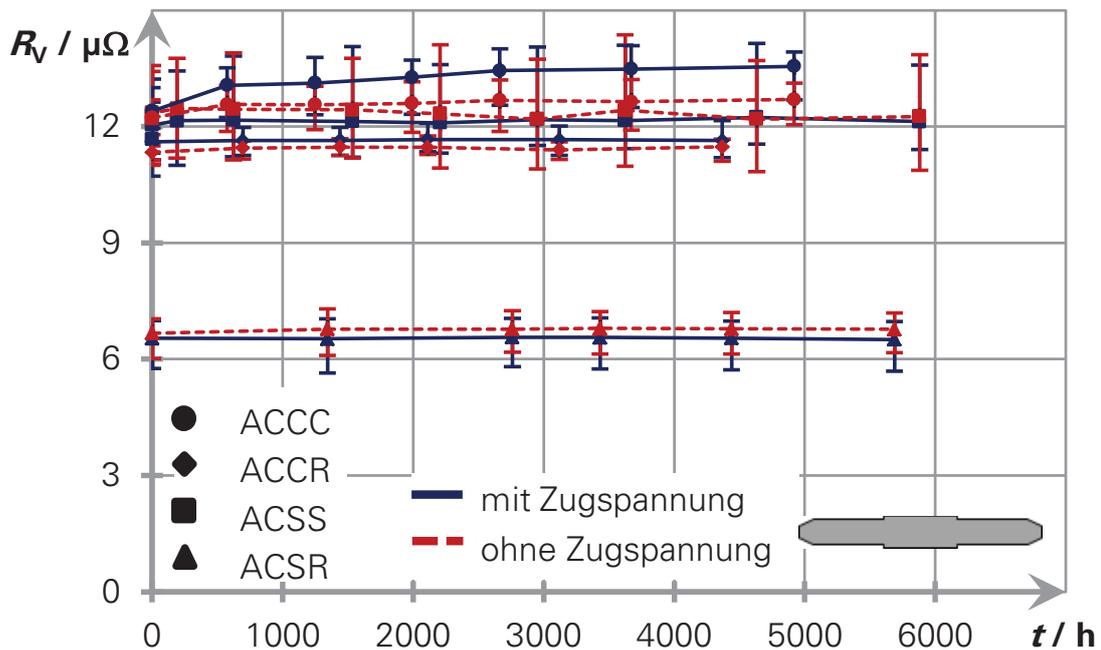


BILD I: VERBINDUNGSWIDERSTÄNDE DER PRESSVERBINDER ABHÄNGIG VON DER ZEIT

Die gemessenen Verbindungswiderstände der dauerhaft belasteten Pressverbinder der Leiterseile ACCR, ACSS und ACSR sind gleichermaßen unverändert (Bild I). Lediglich die Spannweite der Verbindungswiderstände der Pressverbinder für das ACSS-Seil hat sich erhöht. Die eingestellte Zugkraft beeinflusst den Verbindungswiderstand der Pressverbinder der HT-Seile ACCR, ACSS und ACSR nicht. Hingegen sind die Verbindungswiderstände der Pressverbinder für das ACCC-Seil höher, wenn die Prüflinge mit einer Zugspannung belastet werden. Insbesondere innerhalb der ersten 1000 h (Formierungsphase) erhöht sich der Widerstand der zugbelasteten Pressverbinder stärker. Es zeigt sich bisher, dass die Verbindungswiderstände der Armaturen stabiler sind bzw. die Spannweite geringer ist, wenn das Leiterseil mit hartgezogenen Drähten ausgeführt ist. Diese Ergebnisse gelten sinngemäß auch für die untersuchten Pressabspannklemmen.

[1] *Netzentwicklungsplan Strom 2013* - Entwurf. Bundesnetzagentur, 2013.



Benjamin Kaufmann, Dipl.-Ing.

Thermische Modellierung eines in einer Stahltrogschwelle gelagerten Weichenantriebes

Zuverlässiger Bahnverkehr erfordert eine hohe Verfügbarkeit der Infrastruktur. Im Winter können witterungsbedingte Funktionsstörungen an Weichen und deren Antrieben auftreten. Um solchen Funktionsstörungen entgegenzuwirken, werden die Stellsysteme im Winter beheizt. Die thermische Modellierung im Wärmenetz trägt zum Verständnis der Erwärmung infolge Beheizens bei. Die Wärmenetzmethode [1] basiert auf der elektrisch-thermischen Analogie und beschreibt den Wärmetransport infolge eines Temperaturgefälles mit Wärmewiderständen:

$$R_{\text{th}} = \frac{\Delta T}{P_{\text{th}}} = \frac{\Delta T}{\dot{Q}} \quad (1)$$

Durch ein Widerstandsnetzwerk lassen sich komplexe Anordnungen wie in Trogschwellen gelagerte Stellsysteme (Bild I) modellieren. Die Wärmewiderstände müssen zu diesem Zweck parametrisiert und miteinander verbunden werden. Das Stellsystem besteht aus mehreren Funktionseinheiten, die thermisch miteinander über Wärmestrahlung, -leitung und Konvektion in Wechselwirkung treten. Dies sind die Trogschwelle, der Weichenverschluss, die seitlich an die Trogschwelle montierten Weichenantrieb führenden Verbindungsgestänge (Antriebs- und Prüferstangen) sowie ggf. ein hydraulischer Stellzylinder (Bild I).

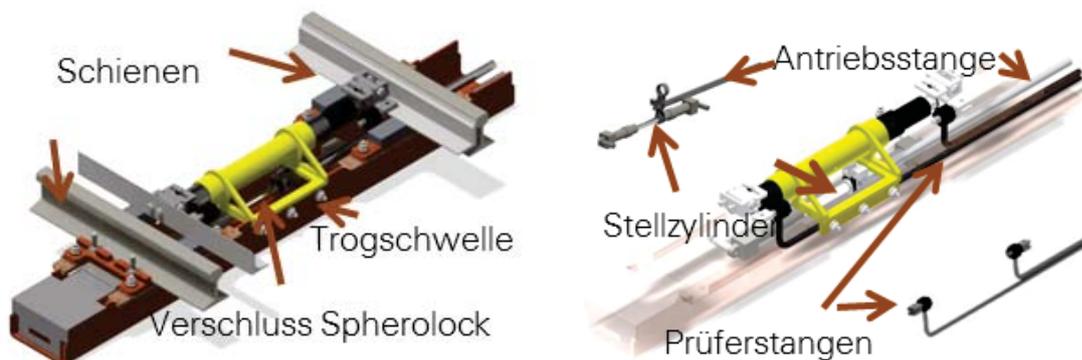


BILD I: TROGSCHWELLE UNTERTEILT IN FUNKTIONSEINHEITEN

Durch die Öffnungen in den Abdeckungen der Trogschwelle tritt ein erheblicher Teil der Wärme aus. Die Kenntnis der Stoff- und Strömungsparameter [2] ist wichtig für die Genauigkeit des Modells und erfordert bei komplexen Anordnungen experimentelle Untersuchungen. Die Erwärmungsversuche zur Bestimmung der Parameter wurden für Trogschwellen mit und oh-

ne abgedichtete Öffnungen durchgeführt. Die Trogschwelle wurde beheizt und die Temperaturen wurden mit Thermoelementen entlang der Bauteile gemessen.

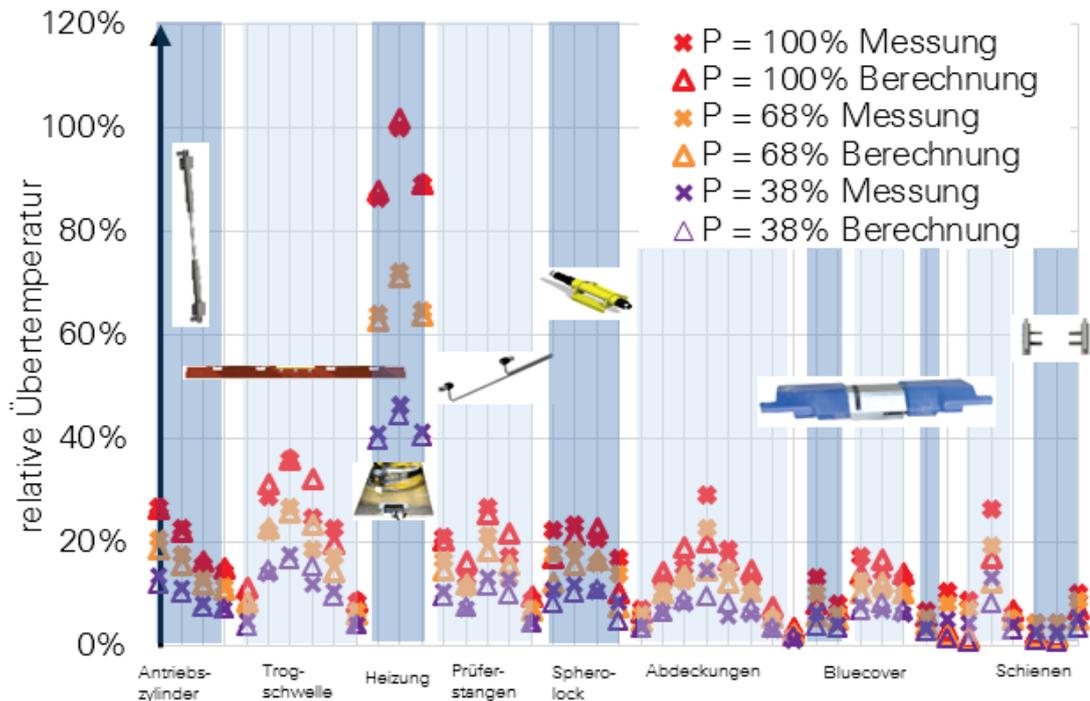


BILD II: GEMESSENE UND BERECHNETE ÜBERTEMPERATUREN AN DEN BAUTEILEN DES STELLSYSTEMS

Die Abweichungen zwischen den gemessenen und den berechneten Übertemperaturen sind bis auf wenige Messstellen vernachlässigbar. Das erstellte Wärmenetz ist daher hinreichend genau, um die Erwärmung der Trogschwelle und des darin gelagerten Weichenantriebes für verschiedene Randbedingungen rechnerisch zu untersuchen.

- [1] H. Böhme, *Mittelspannungstechnik, Schaltanlagen berechnen und entwerfen*, 2. Auflage. Verlag Technik, Berlin 2005.
- [2] Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC), *VDI-WÄRMEATLAS*. 10. Auflage. Springer-Verlag, Berlin 2006.



Christian Kühnel, Dipl.-Ing.

Untersuchungen zur Überlastabschaltung von Ganzbereichssicherungen bei erhöhter Sammelschienen- und Umgebungstemperatur

Sicherungen werden seit Jahrzehnten als zuverlässige und preiswerte Überstromschutzeinrichtungen in der Elektroenergieversorgung eingesetzt. Insbesondere NH-Sicherungen sind in Elektroenergienetzen aufgrund wirtschaftlicher Aspekte und steigender Strombelastung zunehmend höheren Anforderungen ausgesetzt. Eine Bemessung der Sicherungen auf Basis der sogenannten EVU-Last ist zunehmend vor allem in Netzen mit Sekundäreinspeisung nicht mehr zulässig. So werden Sicherungen insbesondere bei Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung, z. B. bei Photovoltaik- oder Biogasanlagen, häufig mit ihrem Bemessungsstrom belastet. In Kombination mit einer kompakten Bauweise der Schaltgerätekombinationen und einem teilweisen Erhöhen der Grenztemperaturen für Betriebsmittel führt dies zu einer höheren thermischen Beanspruchung und einer beschleunigten Alterung der Sicherungen. Ein dominanter Mechanismus ist dabei die Interdiffusion zwischen dem Schmelzleiter und dem Lot (Bild I).

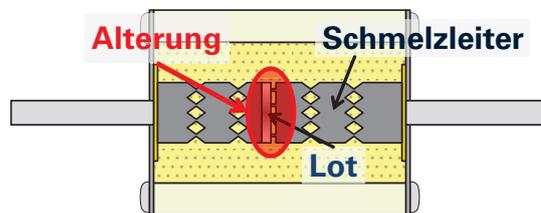


BILD I: SICHERUNGSEINSATZ

Dadurch wird der Widerstand im Schmelzbereich der Sicherung, damit die Verlustleistung und die Temperatur der gesamten Sicherung immer höher. Fehlabschaltungen oder Schaltversagen können die Folge sein.

Auf Grundlage bereits gewonnener Erkenntnisse aus Untersuchungen zum thermischen Verhalten von Sicherungen wurde deshalb das Langzeitverhalten verschiedener Schmelzleiter abhängig von der Temperatur und der Zeit untersucht. Dazu wurden mehrere Exemplare jedes Schmelzleitertyps in Wärmeschränken bei unterschiedlichen Temperaturen $\vartheta = (140, 180)^\circ\text{C}$ gealtert. Zum Bewerten der Alterungsprozesse wurde regelmäßig der elektrische Widerstand mit einem Mikroohmmeter gemessen (Bild II, rechts) und zusätzlich der Bereich der lotbeschichteten Engstelle metallographisch untersucht. Dabei lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf der temperaturabhängigen Interdiffusion zwischen Schmelzleiter und Lot (Überlastabschaltung, Bild I).

Bei Schmelzleitern mit einer Zinnlotlegierung und Temperaturen $\vartheta > 140^\circ\text{C}$ wurden stark erhöhte Widerstände im Bereich der lotbeschichteten Engstel-

le sowie mehrere Schmelzleiterbrüche festgestellt (Bild II). Schmelzleiter mit einem reinen Zinnlot wiesen im selben Temperaturbereich hingegen nur geringe Widerstandserhöhungen auf.

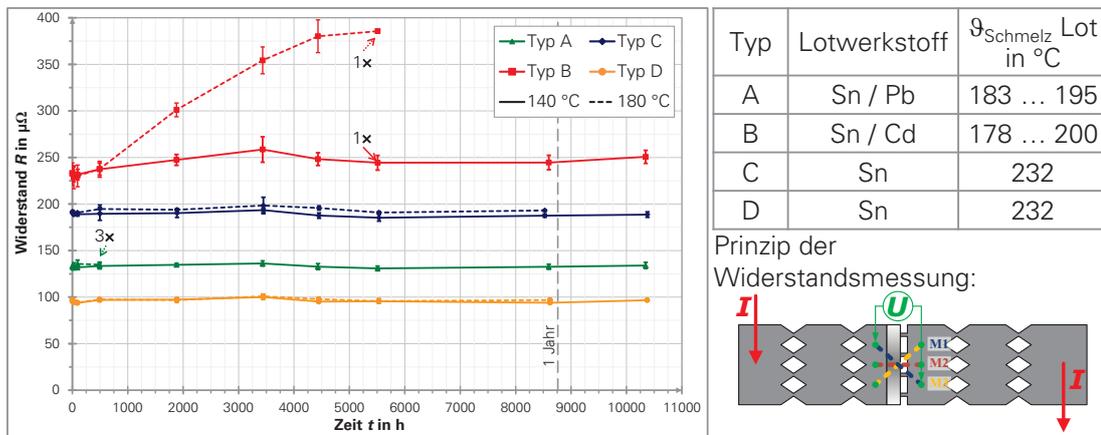


BILD II: WIDERSTAND DER LOTBESCHICHTETEN ENGSTELLE DER SCHMELZLEITERTYPEN ABHÄNGIG VON DER TEMPERATUR (140 °C, 180 °C) UND DER ZEIT

Als Ursache für die erhöhten Widerstände konnte in metallographischen Untersuchungen eine ausgeprägte Interdiffusion zwischen Schmelzleiter und Lot nachgewiesen werden, die zu einer starken Querschnittsminderung des Schmelzleiters und zum Bilden intermetallischer Phasen führte (Bild III).

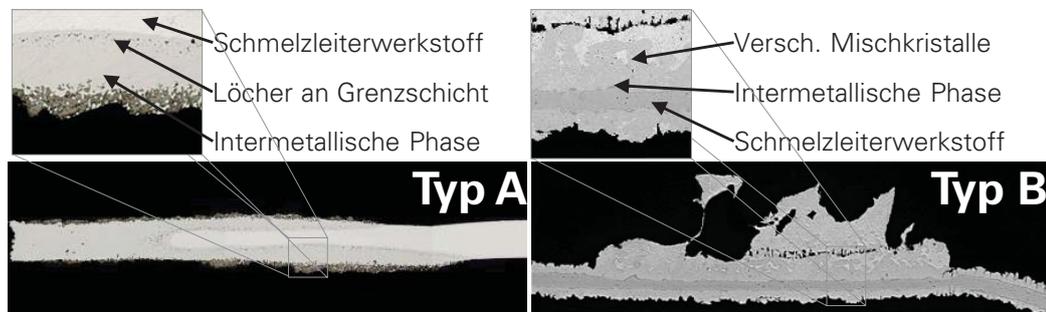


BILD III: GEALTERTE SCHMELZLEITER: SCHLIFFBILD TYP A (LINKS; NACH 1.880 H BEI 180 °C) UND TYP B (RECHTS; NACH 4.835 H BEI 180 °C)

Die bisherigen Erkenntnisse lassen vermuten, dass Schmelzleiter mit einem Lot höherer Schmelztemperatur grundsätzlich besser für den Einsatz bei erhöhten Temperaturen geeignet sind. Weitere Untersuchungen zu den Alterungsmechanismen der Schmelzleiter, in Kombination mit einer praxisnahen Modellierung des thermischen Verhaltens von Sicherungen, sollen zukünftig die Angabe einer physikalisch bestimmten maximalen Messertemperatur für einen langzeitstabilen Betrieb und eine zuverlässige Überlastabschaltung von Sicherungen auch unter erschwerten Betriebsbedingungen ermöglichen.



Davoud Esmaeil Moghadam, M.Sc.

Non-Uniform Voltage Distribution in the Stator Winding of Drive Fed Induction Motors

In the last century, electrical motors have attracted the interest of many different industries. Researches and reviews on the reliability of electrical machines indicate that the most significant defects in the induction motors comprise of weakness and deterioration in the insulation systems. Hence, optimizing the quality and quantity of insulation material has gained a particular attraction especially for industrial owners. Recent development in the semiconductor industries and producing highfrequency switching power electronic devices, lead to a major challenge in utilizing inverters not only for starting the electrical motors, but also for controlling of them. The drives output consists of high frequency-high amplitude impulses with short rise time around 50 ns to 2000 ns. Therefore, assessment of short rise time impulses effects on the stator winding could be worthwhile. The first approaches have been developed on the voltage distribution in one coil due to impulses with different rise times. An observation has been suggested for voltage among the turns by using a 6 kV coil with 10 turns.

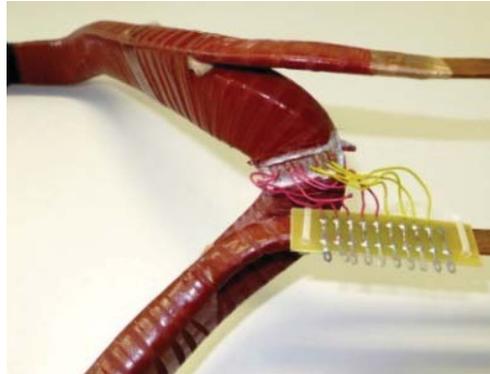


Figure I: VOLTAGE DROPS MEASUREMENT POINTS

Subsequently, Impulse voltages with different rise times have been applied and followed by an observation of voltage drop for each turn. The result presented as percentage of average voltage drop in Fig. II, where V_d is voltage drop, V_n is input voltage and n in number of turns. As it illustrates in figure II, in lower short rise times, voltage distribution among the turns is not linear. However increasing the rise time changes it to linear. Current study is important from the point of view that the maximum voltage drop accrues on the last turns and it is 120 % of the average voltage drop.

There are some series coils in each phase of the stators. The next step deals with the voltage drop on series coils. Therefore, the Impulses with rise time in the range of 0.05 - 11 μ s have been applied and followed by the voltage drop measurement on each coil (Fig. III). Although a linear voltage drop is

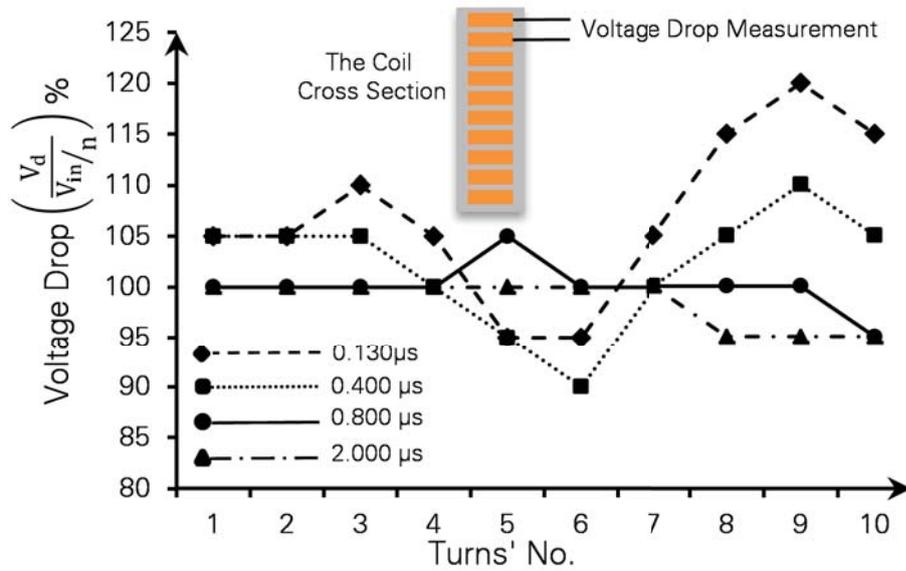


Figure II: VOLTAGE DROP BETWEEN TWO ADJACENT TURNS

evident by higher rise times, voltage drops in shorter rise times on each coil arises significantly. Apparently, voltage drop on the first coil rises till 85 % of input voltage. In addition it should be considered that the number of coils in series coils is not significant. Further investigations proved the similarity in the patterns of voltage drop for more coils in series. It indicates voltage drop on the first coil reach around 90 % of input voltage.

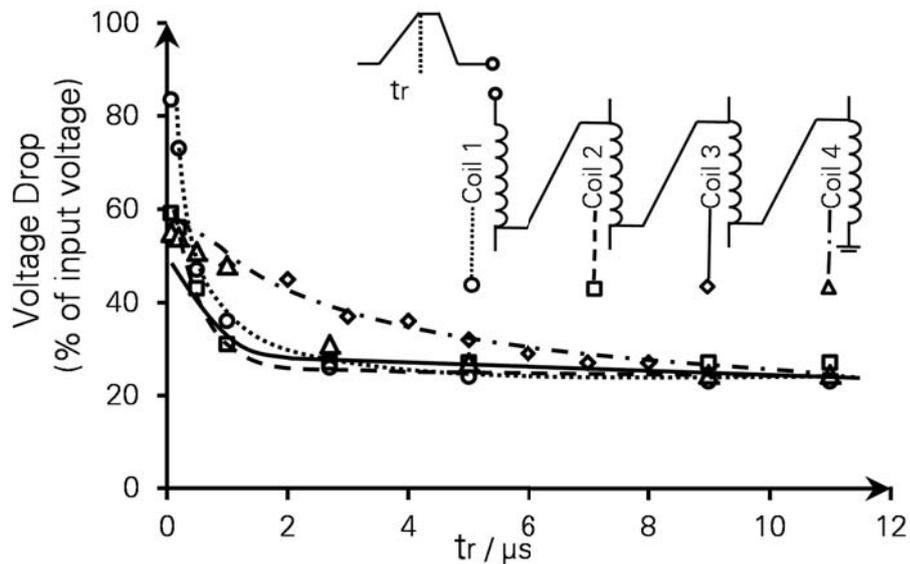


Figure III: VOLTAGE DROP IN 4 SERIES COILS

Obviously, short rise time impulses lead to non-linear voltage distribution in the stator winding. Consequently interturn insulation could be affected by partial discharges due to non-linear voltage distribution. Accordingly with an optimized insulation design, interturn insulation would have a reasonable life time.



Hans-Peter Pampel, Dipl.-Ing.

**Isolierende Seile
für das Arbeiten unter Spannung**

Isolierende Seile sind ein unerlässliches Arbeitsmittel zum Arbeiten unter Spannung (AuS). Von besonderem Interesse sind die Vorgänge, die nach Belastung mit Nässe und daraus resultierenden Ableitströmen die elektrische und mechanische Festigkeit der Seile mindern. Bisherige Untersuchungen belegen, dass bei nässebedingtem hohen Ableitstrom eine unzureichende mechanische Festigkeit noch vor unzureichender elektrischer Festigkeit eintritt. Der Verlust der mechanischen Festigkeit ist in diesem Fall hauptsächlich durch thermische Beanspruchung bedingt, deren Größe vornehmlich vom elektrischen Verhalten der im Seil eingelagerten Feuchtigkeit abhängt.

Während Stehspannungstests an nassen Seilen aufgezeichnete zeitliche Verläufe von Spannung und Strom ließen Phasen rein resistiven Verhaltens sowie Phasen mit kapazitivem Verhalten im Bereich der Spannungs-Nulldurchgänge und resistivem Verhalten im Bereich der Spannungs-Maxima erkennen. Mit der Darstellung als u-i-Diagramm (Lissajous-Figur) konnten die Phasen noch besser erkannt werden. Zur Analyse der ablaufenden Prozesse wurden Versuche an einzelnen Kapillaren durchgeführt.

Als Kapillare wurden wassergefüllte, senkrecht zwischen zwei Elektroden angeordnete Kunststoffschläuche mit 0,5 mm Innendurchmesser genutzt. Die untere Elektrode ist als Schutzringelektrode ausgeführt und die Abmessungen der Elektroden gewährleisteten ohne Prüfobjekt eine nahezu lineare Potentialverteilung in der Prüfstrecke. Eine vorher eingestellte 50-Hz-Wechselspannung wurde durch Schalten an die obere Elektrode angelegt. Die Erfassung des Ableitstroms erfolgte mittels stromproportionaler Spannungsmessung über einem zwischen Messelektrode und Erdpotential liegenden Widerstand. Eine grobe Ermittlung der Temperaturentwicklung und -verteilung auf der Oberfläche der Kapillare erfolgte mit einer Infrarotkamera.

Untersuchungen an vollständig mit Wasser gefüllten Kapillaren zeigen folgende signifikante Prozesse:

- Anfänglich hoher Strom führt zur Erwärmung und weiterem Anstieg des Stromes auf Grund des sinkenden spezifischen elektrischen Widerstands des Wassers. Dieses rein resistive Verhalten ist gekennzeichnet durch ansteigende gerade Lissajous-Figuren (Bild I). Die gesamte Kapillare erwärmt sich gleichmäßig.
- Zusammenbruch des Stroms auf Grund der Unterbrechung der Wasserbahn nach Verdampfen des Wassers in einzelnen Bereichen. Darauf folgend dauerhaft geringer Strom mit kapazitivem Verhalten im Bereich der Spannungs-Nulldurchgänge und resistivem Verhalten im Be-

reich der Spannungs-Maxima, gekennzeichnet durch Schleifen an den Enden der Lissajous-Figuren. Dieser Verlauf lässt auf zündende und verlöschende (intermittierende) Entladungen über kleinen Trockenzonen an der feuchten Grenzfläche ‚Kunststoff – Gasblase‘ in den Bereichen der unterbrochenen Wasserbahn schließen. Die Bereiche der Gasblasen kühlen langsamer als wassergefüllte Bereiche ab.

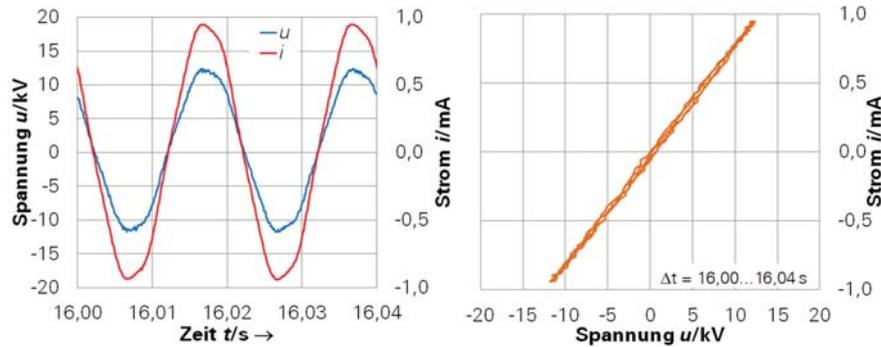


BILD I: STROM I, SPANNUNG U UND U-I-DIAGRAMM, KAPILLARE VOLLSTÄNDIG GEFÜLLT

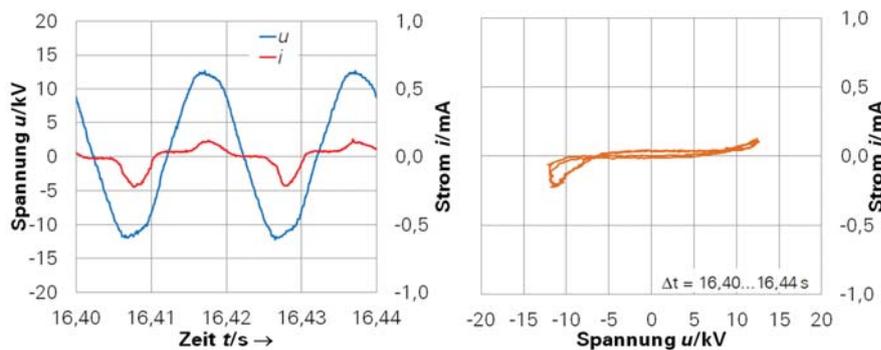


BILD II: STROM I, SPANNUNG U UND U-I-DIAGRAMM, KAPILLARE MIT UNTERBROCHENER WASSERBAHN

Hinsichtlich der thermischen Beanspruchung des Seiles bei Belastung mit Spannung können daraus folgende Aussagen getroffen werden:

- Durchgängige leitfähige Fremdschichten führen zu starken thermischen Beanspruchungen
- Erfolgt das Aufheizen des Wassers bis zum Verdampfen, ist die Beanspruchung am stärksten und es ist mit kritischem Festigkeitsverlust des Seiles zu rechnen
- Zündende und verlöschende Entladungen über kleinen Trockenzonen an der feuchten Grenzfläche führen zu örtlichen thermischen Beanspruchungen, ein Festigkeitsverlust des Seiles ist wahrscheinlich, lässt sich jedoch noch nicht quantifizieren.

Untersuchungen an Seilstücken mit injizierter durchgängiger Wasserbahn zeigten vergleichbare zeitliche Verläufe von Spannung und Strom bzw. vergleichbare Lissajous-Figuren. Ein Rückschluss auf die im Seil ablaufenden Prozesse und die thermische Beanspruchung der Kunststofffasern wird somit als gerechtfertigt angesehen.



Stephanie Pfeifer, Dipl.-Ing.

Charakterisieren der Eigenschaften von intermetallischen Phasen des Systems Aluminium-Silber (Al-Ag)

In elektrischen Bimetallverbindungen können bei bestimmten Materialpaarungen intermetallische Phasen (IMP) durch Diffusionsprozesse entstehen. Diese haben oft schlechtere elektrische und mechanische Eigenschaften als die Ausgangsmetalle und beeinflussen damit den Verbindungswiderstand negativ. Im System Aluminium-Silber existieren bei Temperaturen unter 400 °C zwei intermetallische Phasen: δ -Ag₂Al und μ -Ag₃Al. In Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für Edelmetalle und Metallchemie (fem) wurden Proben beider Phasen alleinstehend durch Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) und Elektrochemische Abscheidung (ECD) hergestellt. Die strukturelle Analyse erfolgte am fem. Für das Bestimmen der elektrischen Eigenschaften (spezifischer elektrischer Widerstand und Temperaturbeiwert) wurde am IEEH ein spezieller Versuchsstand konzipiert [1]. Die ermittelten Ergebnisse aus den Versuchen sind in Tabelle I und Tabelle II zusammengefasst. Bild I zeigt den spezifischen elektrischen Widerstand der Phasen bei 20 °C im Vergleich mit den Literaturwerten.

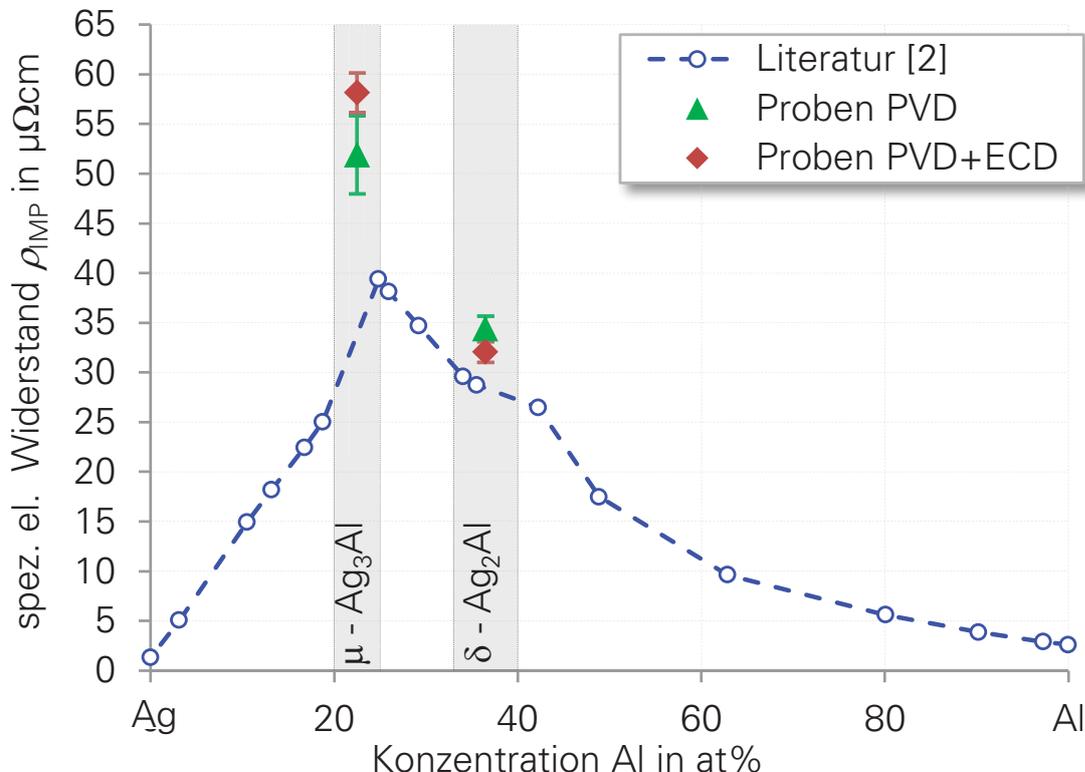


BILD I: MESSERGEBNISSE IM VERGLEICH MIT DEN LITERATURWERTEN

Die Existenzbereiche der beiden Phasen sind grau unterlegt, die Fehlerbalken entsprechen der Standardabweichung. Für beide Herstellungsverfahren

wurden in etwa gleiche spezifische elektrische Widerstände ermittelt. Diese sind für beide Phasen höher als in der Literatur angegeben. Insbesondere bei der μ -Phase ist der Unterschied signifikant. Es ist zu erkennen, dass der spezifische elektrische Widerstand der IMP deutlich höher ist als der für Silber oder Aluminium.

TABELLE I: SPEZIFISCHER ELEKTRISCHER WIDERSTAND $\rho_{20\text{IMP}}$ DER IMP IM SYSTEM AL-AG: VERGLEICH EIGENE MESSWERTE UND LITERATURWERTE

Phase	PVD	PVD+ECD	Literatur [2]
$\delta\text{-Ag}_2\text{Al}$	$(34,4 \pm 1,3) \mu\Omega\text{cm}$	$(32 \pm 1,1) \mu\Omega\text{cm}$	$29,5 \mu\Omega\text{cm}$
$\mu\text{-Ag}_3\text{Al}$	$(51,9 \pm 3,9) \mu\Omega\text{cm}$	$(58,2 \pm 2,0) \mu\Omega\text{cm}$	$39,8 \mu\Omega\text{cm}$
Vergleichswerte	Al (Al99,5): $2,65 \mu\Omega\text{cm}$	Ag: $1,59 \mu\Omega\text{cm}$	

Aus dem gemessenen Verlauf des Widerstandes abhängig von der Temperatur wurde der zugehörige Temperaturbeiwert des spezifischen elektrischen Widerstandes berechnet (Gleichung 1, Tabelle II).

$$\alpha_T = \frac{\frac{\rho(\vartheta)}{\rho_{20}} - 1}{\vartheta - 20^\circ\text{C}} \quad (1)$$

Für das System Al-Ag existieren dazu keine Vergleichswerte aus der Literatur. Es ist zu erkennen, dass sich der Temperaturbeiwert aus beiden Herstellungsverfahren für die δ -Phase kaum unterscheidet, für die μ -Phase jedoch signifikante Abweichungen der Messergebnisse vorliegen. Insgesamt ist der Temperatureinfluss auf den Widerstand sehr gering.

TABELLE II: TEMPERATURBEIWERT $\alpha_{T\text{IMP}}$ DES SPEZIFISCHEN ELEKTRISCHEN WIDERSTANDES DER IMP IM SYSTEM AL-AG: EIGENE MESSWERTE UND LITERATURWERTE

Phase	PVD	PVD+ECD	Literatur
$\delta\text{-Ag}_2\text{Al}$	$(0,93 \pm 0,03) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$(0,94 \pm 0,05) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$	k. A.
$\mu\text{-Ag}_3\text{Al}$	$(0,55 \pm 0,08) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$	$(0,69 \pm 0,04) \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$	k. A.
Vergleichswerte	Al (Al99,5): $4 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$	Ag: $4,3 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$	

[1] Institut für elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik, *Jahresbericht 2012*

[2] Landoldt-Börnstein: *Zahlenwerte und Funktionen aus der Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik*, 6. Auflage, BAND II – Teil 5, Springer Verlag, Berlin–Göttingen–Heidelberg, 1968



Alexander Ramonat, Dipl.-Ing.

Elektrische und thermische Untersuchungen an supraleitenden Bandleitern

Der Einsatz von Leiterwerkstoffen bei tiefen Temperaturen hat in den letzten Jahren, besonders durch die zügige Entwicklung der Hochtemperatursupraleiter (HTSL), stark zugenommen. Ein großer Vorteil der HTSL ist das Kühlen mit kostengünstigem sowie einfach handhabbarem Flüssigstickstoff (LN_2). Für neuartige supraleitende Betriebsmittel (z. B. supraleitende Strombegrenzer) werden i. d. R. HTSL der zweiten Generation in Form von REBCO-Bandleitern¹ eingesetzt (Bild I). Aus elektrotechnischer Sicht ist für das Auslegen der Betriebsmittel das thermische und elektrische Verhalten der Bandleiter bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen von großem Interesse. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten ist das Kontaktieren der Bandleiter untereinander sowie das Kontaktieren von Supraleitern und Normalleitern in LN_2 .

Um das thermische und elektrische Verhalten der REBCO-Bandleiter messen zu können, wurde eine Probenhalterung entworfen (Bild II).

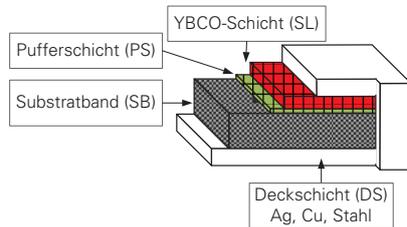


BILD I: SCHICHTAUFBAU
DES REBCO-
BANDLEITERS

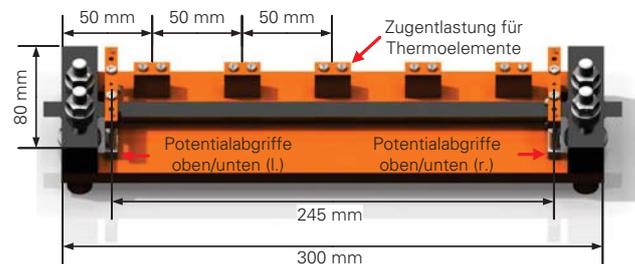


BILD II: PROBENHALTERUNG MIT POTENTIAL-
ABGRIFFEN UND HALTERUNGEN
FÜR THERMOELEMENTE

Die versilberten Kupferblöcke dienen der Kontaktierung der 320 mm langen REBCO-Bandleiter-Proben mit dem Stromkreis. Mit den Potentialabgriffen wird die Spannung im maximal möglichen Abstand von $a = 245$ mm gemessen. Wichtigstes Element der Potentialabgriffe (PA) sind jeweils zwei gefederte, vergoldete Kontaktstifte, die auf gleicher Höhe ober- und unterhalb des eingespannten Bandleiters positioniert sind. Auf diese Weise wird eine stabil gute Kontaktierung gewährleistet.

Es wurden REBCO-Bandleiter unterschiedlicher Hersteller und mit unterschiedlichem Schichtaufbau untersucht (Tabelle I).

Der letzte Messpunkt der Messreihen kennzeichnet den gemessenen kritischen Strom I_c . Dieser kann deutlich größer als die Herstellerangabe (I_{c-N})

¹ REBCO kennzeichnet die Zusammensetzung der supraleitenden Schicht
RE = Rare Earth (Seltenerdenelement), B = Barium, CO = Kupferoxid

TABELLE I: ÜBERSICHT DER REBCO-BANDLEITER UND IHRER EIGENSCHAFTEN

Variante	Deckschicht	Stabilisator	kritischer Strom	
			I_{c-N}	I_c
A	Silber	-	200	210
B	Silber	Stahl	250	355
C	Silber	-	290	370
D	Silber	-	290	375

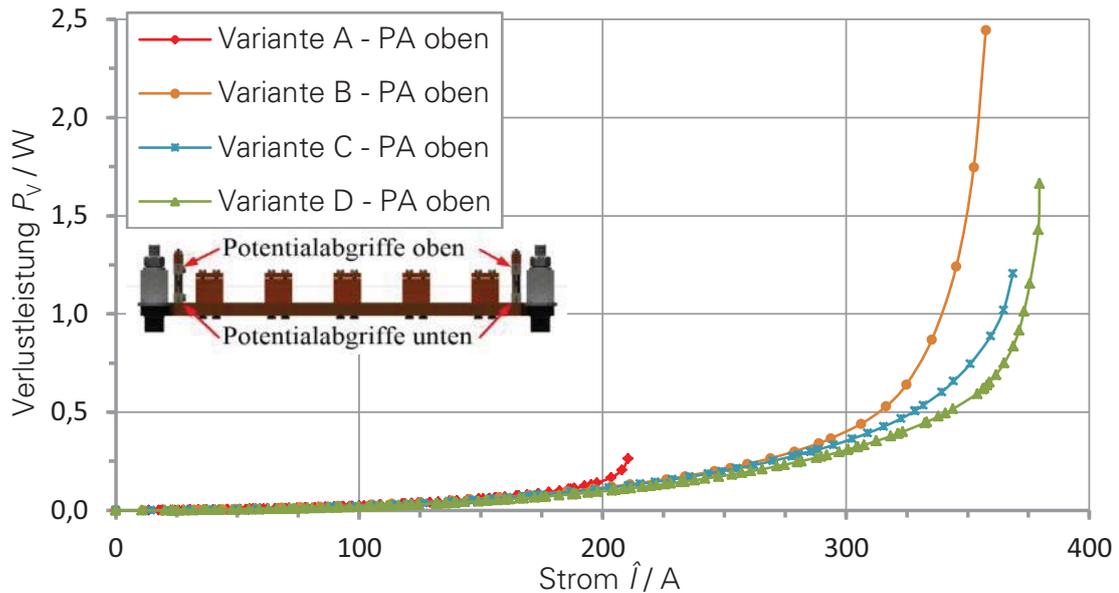


BILD III: VERLUSTLEISTUNG IN DER SUPRALEITENDEN PHASE UNTERSUCHTER REBCO-BANDLEITER ABHÄNGIG VOM STROM

sein, da vor dem Ausliefern nur die gesamte Rolle (mehrere Meter) gemessen wird. Beim Überschreiten des kritischen Stroms bricht die supraleitende Phase zusammen und der Bandleiter geht in die normalleitende Phase über, er quencht. Der Übergang erfolgt in einem kleinen Bereich (< 5 mm). Beim Bandleiter Variante A wurden im Quenchbereich Übertemperaturen von 25 - 38 K gemessen. Die gemessenen Wechselstromverluste setzen sich aus Wirbelstromverlusten in den normalleitenden Schichten des REBCO-Bandleiters (Substrat, Deckschicht) und Hystereseverlusten in der supraleitenden Schicht zusammen. Ein Vergleich mit empirischen Formeln zum Bestimmen der Hystereseverluste [1] hat gezeigt, dass bei Strömen bis $I \approx 0,7 I_c$ die Wirbelstromverluste dominieren und der große Anstieg der Verlustleistung bei höheren Strömen auf die Hystereseverluste zurückzuführen ist.

[1] Norris, W. T.: *Calculation of hysteresis losses in hard superconductors carrying ac: isolated conductors and edges of thin sheets*. In Journal of Physics D: Applied Physics, 1970, 3



Matthias Voigt, Dipl.-Ing.

Entwicklung und Erprobung eines Bohrkopfes zur Tiefengeothermie auf Basis des Elektro-Impuls-Verfahrens

Der Ausbau der erneuerbaren Energiequellen wird aufgrund des Rückgangs der fossilen Rohstoffe im 21. Jahrhundert eine große Herausforderung darstellen. Neben Wind-, Solar- und Wasserkraftwerken rücken verstärkt auch Geothermiekraftwerke (Bild I) in den Mittelpunkt. Die Geothermie hat den großen Vorteil, dass sie kontinuierlich Energie zur Verfügung stellt und somit im Gegensatz zur Wind- und Solarenergie zur Abdeckung der Grundlast eingesetzt werden kann.

Um eine hohe Effizienz und signifikante Wärmeleistungen zu erhalten, sind dazu Bohrungen bis in eine Tiefe von 5000 m notwendig, welche Kosten in Höhe von 8 bis 13 Mio. € verursachen. Diese enormen Herstellungskosten verringern die Wettbewerbsfähigkeit von Geothermieranlagen im Vergleich zu anderen regenerativen Energiequellen erheblich. Ein Hauptproblem bei der Bohrung ist der mechanische Verschleiß des Bohrkopfes, besonders in hartem Tiefengestein und die daraus resultierenden zeitintensiven Werkzeugwechsel.

Mit dem Elektro-Impuls-Verfahren kann eine Bohrung nahezu verschleißfrei durchgeführt werden, wodurch sich die Kosten erheblich verringern lassen. Dabei wird das Gestein mithilfe von elektrischen Entladungen zerstört. Ein Impulsspannungsgenerator (Bild II) erzeugt die dafür notwendigen hohen Spannungen.

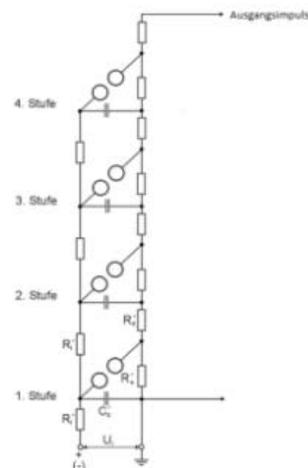
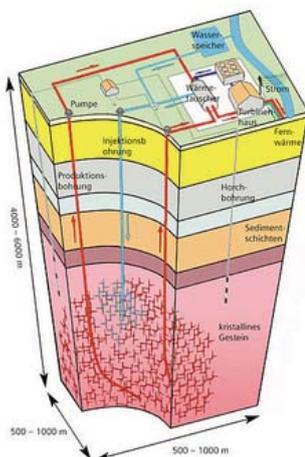


BILD I: GEOTHERMIEANLAGE [1] BILD II: IMPULSSPANNUNGSGENERATOR

Es wurde ein Impulsspannungsgenerator entwickelt, der für Temperaturen von 200 °C ausgelegt ist und einen Schaltdurchmesser von 13 cm aufweist. Dieser Generator wird in einem Stahlrohr unter Druckgas gesetzt, wodurch Hochspannungsimpulse von etwa 500 kV erzeugt werden können.

Der Außendurchmesser der gesamten Anordnung beträgt $12 \frac{1}{4}$ " bzw. 311 mm (Bild III).

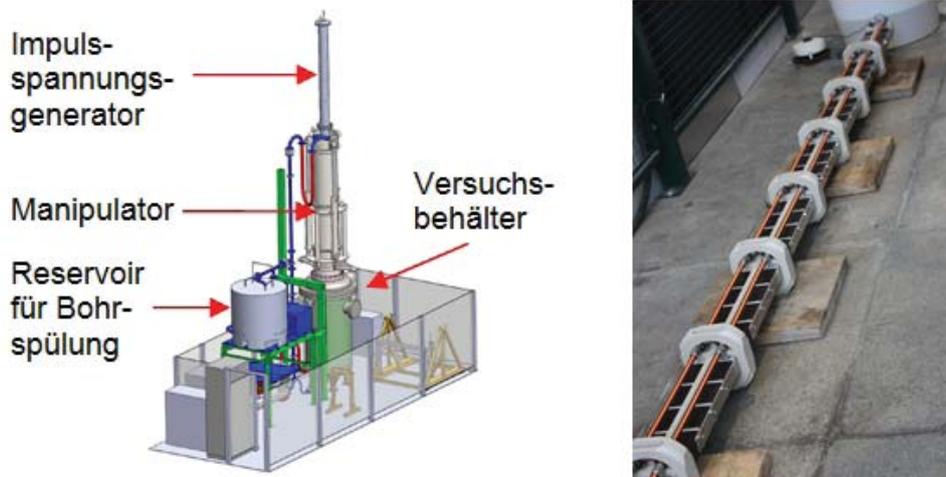


BILD III: VERSUCHSSTAND UND IMPULSSPANNUNGSGENERATOR

Mit diesem Generator wurden Untersuchungen zum Gesteinsabtrag in einem Granitblock durchgeführt (Bild IV). Mithilfe von Voruntersuchungen wurden Elektrodengeometrien entwickelt, die den elektrischen und mechanischen Belastungen im Bohrloch standhalten und einen optimalen Vortrieb gewährleisten. Dabei konnten bereits bei geringen Impulsenergien (ca. 45 % der angestrebten Impulsenergie) Bohrgeschwindigkeiten von ca. 1 m/h erreicht werden, was mit konventionellen Technologien vergleichbar ist. Durch eine weitere Spannungssteigerung wird das Ergebnis noch verbessert werden.



BILD IV: $12 \frac{1}{4}$ " BOHRUNG IN GRANITGESTEIN

[1] M. O. Häring, *Häring GeoProject*, 2002



Moyan Wei, M.Eng.

**Berechnungsmethoden für
Endenglimmschutzdesign**

Der Endenglimmschutz (EGS) dient der Reduzierung der tangentialen elektrischen Feldstärke im Bereich des Nutaustritts der Ständerwicklung von Hochspannungsmaschinen. Wegen der Nichtlinearität des angewendeten EGS-Materials (z. B. SiC) ist dessen Dimensionierung schwierig. Je nach Beanspruchungsart muss der EGS unterschiedliche Kriterien erfüllen: Während der Hochspannungsprüfung darf kein Überschlag und keine thermische Überlastung auftreten; unter Betriebsbedingung müssen Teilentladung (TE) auf dem EGS vermieden werden. Mit der Vorausberechnung der Potentialverteilung und der Temperatur des EGS profitiert man gegenüber traditionellen Designverfahren, welche auf Experimenten basieren. Es wurden zwei Berechnungsmethoden nach der RC-Netzwerk- und FE-Methode entwickelt, um das Verhalten des EGS vorzuberechnen [1], [2]. Wichtige Faktoren zur Bewertung der beiden Methoden sind die Genauigkeit und die Effizienz der Berechnung. Ein zylinderförmiges Modell (Bild 1) wurde mit beiden Methoden berechnet.

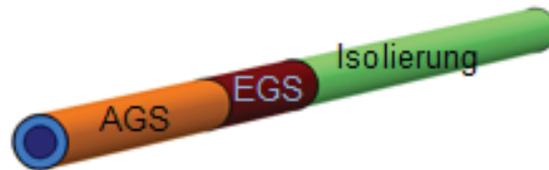


BILD I: ZYLINDERFÖRMIGER MODELLSTAB

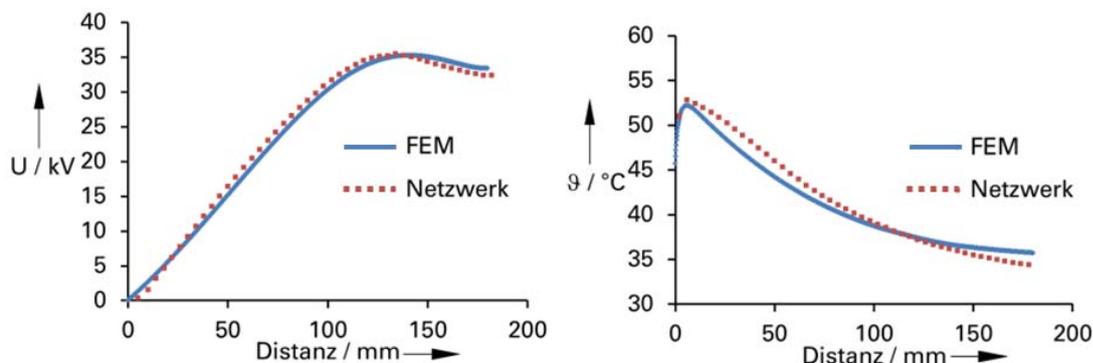


BILD II: BERECHNETE POTENTIAL- (LINKS) UND TEMPERATURVERTEILUNG (RECHTS) DES EGS, $\hat{U}=32$ kV

Die Rechenergebnisse der beiden Methoden sind nahezu identisch (Bild II). Damit kann geschlussfolgert werden, dass die beiden Methoden im Sinne der Genauigkeit für 2D-Modelle gleichwertig sind. Da die 3D-Fähigkeit

der Netzwerkmethodem sehr begrenzt ist, wurden für reale Stabgeometrien, bei denen die Temperatur am Umfang nicht gleichmäßig verteilt ist, die FEM angewendet (Bild III). Die Rechenergebnisse wurden messtechnisch überprüft (Bild IV). Da die FEM-Modelle elementintensiv sind, ist damit der Rechenaufwand gegenüber der Netzwerkmethodem insbesondere bei transienter Berechnung deutlich höher.

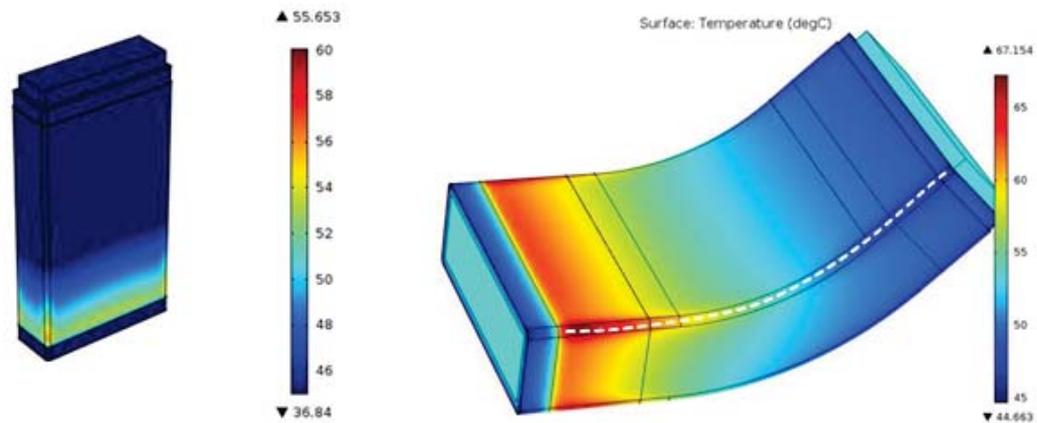


BILD III: BERECHNETE TEMPERATUREN FÜR STABGEOMETRIE, $\hat{U}=32$ kV

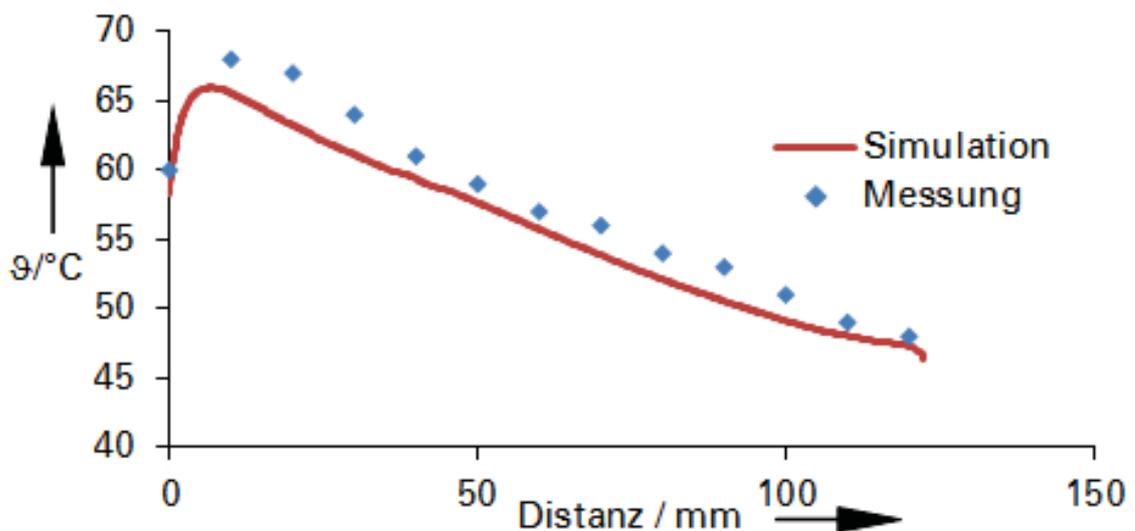


BILD IV: BERECHNETE UND GEMESSENE TEMPERATURVERTEILUNG ENTLANG DER WEISSEN GESTRICHELTEN LINIE IN BILD III

- [1] J. Speck, S. Großmann, F. Kielmann, *Behaviour of the Stress Grading System in Converter Operated H. V. Machines*. 15th International Symposium on High Voltage Engineering, Ljubljana, 2007, pp. 857-862
- [2] M. Wei, J. Speck, S. Großmann, *Computational Methods for Designing of Endwinding Corona Protection*. 18th International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul, 2013, OF7-01

3.2.3 Publikationen

Vorträge

Backhaus, K.:

Grenzflächenpolarisation in der Öl-Papier-Isolierung bei Belastung mit hoher Gleichspannung. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen ,
Dresden, 13.11.2013

Backhaus, K.:

Concentration triggered Breakdown of Oil Paper Insulation at high DC Voltage and Evaluation by FEM. 18th International Symposium on High Voltage Engineering,
Seoul, 28.08.2013

Fuhrmann, T.:

Langzeitverhalten von optimierten Verbindungssystemen mit Leitern aus Al und Al-Legierungen bei Temperaturen über 90° C. 22. Albert-Keil-Kontaktseminar,
Karlsruhe, 09.10.2013

Gatzsche, M.:

Untersuchungen zu Stromaufteilung in Hochstrom-Steckverbindungen mit mehreren parallelen Kontaktelementen. 22. Albert-Keil-Kontaktseminar,
Karlsruhe, 10.10.2013

Hering, M.:

Investigation of the Temperature Influence on the Breakdown Voltage in Gas Insulated Systems under DC Voltage Stress. 18th International Symposium on High Voltage Engineering,
Seoul, 29.08.2013

Hering, M.:

Untersuchungen zum Verhalten von Isolatoren in gasisolierten Systemen bei Gleichspannungsbelastung. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen ,
Dresden, 12.11.2013

Kühnel, C.:

Untersuchungen zur Überlastabschaltung von Ganzbereichssicherungen bei erhöhter Sammelschienen- und Umgebungstemperatur. 22. Albert-Keil-Kontaktseminar,
Karlsruhe, 10.10.2013

Lücke, N.:

Vergleich von Werkstoffen auf Basis von Cu und Al sowie Trends bei deren Anwendung in der Elektroenergie-technik. 10. Kupfer-Symposium, Hamburg, 07.11.2013

Pampel, H.-P.:

Elektrisches Verhalten isolierender Seile für das Arbeiten unter Spannung. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, Dresden, 12.11.2013

Pfeifer, S.:

Alterung stationärer elektrischer Verbindungen durch Interdiffusion. Symposium Connectors GMM Fachtagung, Lemgo 06.03.2013

Pfeifer, S.:

Intermetallische Phasen in Verbindungen der Energietechnik: gezielte Erzeugung durch oberflächentechnische Verfahren zur Charakterisierung der elektrischen Eigenschaften. ZVO Oberflächentage, Dresden, 19.09.2013

Schlegel, S.:

Elektrisches Eigenschaftsprofil umformtechnischer Fügeverbindungen. 3. Füge-technisches Gemeinschaftskolloquium, Rostock, 10.-11.12.2013

Schlegel, S.:

Elektrisches Eigenschaftsprofil umformtechnischer Fügeverbindungen. Arbeitskreissitzung Mechanisches Fügen, Rostock, 20.06.2013

Wei, M.:

Berechnungsmethoden für Endglimmenschutzdesign. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, Dresden, 13.11.2013

Wei, M.:

Computational Methods for Designing of End-winding Corona Protection. 18th International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul, 29.08.2013

Veröffentlichungen

Anders, E.; Voigt, M.; Lehmann, F.:

High Voltage vs. Hard Rock - Mit Hochspannung durch Hartgestein, bbr Sonderheft Geothermie, 2014

Backhaus, K.; Speck, J.; Großmann, S.; Fritsche, R.:

Grenzflächenpolarisation in der Öl-Papier-Isolierung bei Belastung mit hoher Gleichspannung. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, ETG-Fachbericht 140, 2013

Backhaus, K.; Speck, J.; Großmann, S.; Fritsche, R.:

Concentration triggered Breakdown of Oil Paper Insulation at high DC Voltage and Evaluation by FEM. 18th International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul 2013

Dreier, S.; Kaufmann, B.; Großmann, S.:

Influence of films on the Surface of Electrical Contacts at Cryogenic Temperatures, 59th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, 2013. - DOI: 19.1109/HOLM.2013.6651416 2013

Fuhrmann, T.; Schlegel, S.; Großmann, S.:

Langzeitverhalten von optimierten Verbindungssystemen mit Leitern aus Al und Al-Legierungen bei Temperaturen über 90°C. 22. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, VDE Fachbericht 69, 2013

Gatzsche, M.; Lücke, N.; Großmann, S.; Ledermann, T.; Blumenroth, F.; Freudiger, G.:

Untersuchungen zu Stromaufteilung in Hochstrom-Steckverbindungen mit mehreren parallelen Kontaktelementen. 22. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, VDE Fachbericht 69, 2013

Hering, M.; Großmann, S.; Speck, J.; Riechert, U.:

Investigation of the Temperature Influence on the Breakdown Voltage in Gas Insulated Systems under DC Voltage Stress. 18th International Symposium on High Voltage Engineering, Seoul 2013

Hering, M.; Großmann, S.; Speck, J.; Riechert, U.:

Untersuchungen zum Verhalten von Isolatoren in gasisolierten Systemen bei Gleichspannungsbelastung. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, ETG-Fachbericht 140, 2013

Hildmann, C.; Dreier, S.; Großmann, S., Dockhorn, T.:

Economic considerations for uprating of overhead lines with high temperature low sag conductors, Cigré – International Symposium Best Practice in Transmission and Distribution in a Changing Environment, Auckland 2013

Kaufmann, B.; Dreier, S.; Haberstroh, C.; Großmann, S.:

Integration of LN₂ Multiphase Heat Transfer Into Thermal Networks for High Current Components, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 23, Issue 3, Part 2, 2013. - DOI: 10.1109/TASC.2012.2234191

Kaufmann, B.; Kudoke, M.; Großmann, S.:

Automatic Generation of a Thermal Network Model for a MV GIS, CIRED 2013: 22nd International Conference & Exhibition on Electricity Distribution, Stockholm 2013. – ISBN 978-1-84919-732-8.

Kaufmann, B.; Kudoke, M.; Großmann, S.:

Experimental verification of convective heat transfer computations for gas insulated switchgear, 4th International Youth Conference on Energy (IYCE), Siófok, 2013. - DOI: 10.1109/IYCE.2013.6604189

Kühnel, C.; Schlegel, S.; Großmann, S.:

Untersuchungen zur Überlastabschaltung von Ganzbereichssicherungen bei erhöhter Sammelschienen- und Umgebungstemperatur. 22. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, VDE Fachbericht 69, 2013

Lücke, N.; Schlegel, S.; Großmann, S.:

Vergleich von Werkstoffen auf Basis von Cu und Al sowie Trends bei deren Anwendung in der Elektroenergie-technik. Metall, 67. Jahrgang, 11/2013

Pampel, H.-P.; Großmann, S.; Speck, J.:

Elektrisches Verhalten isolierender Seile für das Arbeiten unter Spannung. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, ETG-Fachbericht 140, 2013

Pfeifer, S.; Willing, H.; Kappl, H.; Großmann, S.:

Intermetallische Phasen in Verbindungen der Energietechnik: gezielte Erzeugung durch oberflächentechnische Verfahren zur Charakterisierung der elektrischen Eigenschaften, ZVO Oberflächentage, Dresden, 18-20.09.2013

Pfeifer, S., Schlegel, S.; Großmann, S.:

Alterung stationärer elektrischer Verbindungen durch Interdiffusion, Symposium Connectors GMM Fachtagung, Lemgo 06.-07.03.2013, ISBN 978-3-00-041043-7

2013

Wei, M.; Großmann, S.; Speck, J.:

Berechnungsmethoden für Endenglimmschutzdesign. 4. ETG-Fachtagung Grenzflächen in elektrischen Isoliersystemen, ETG-Fachbericht 140, 2013

Wei, M.; Großmann, S.; Speck, J.:

Computational Methods for Designing of End-winding Corona Protection. 18th International Symposium on High Voltage Engineering,

Seoul 2013

3.3 Preise und Auszeichnungen

„Young Researcher Award“ des ISH 2013 in Seoul

Zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und als Anerkennung hervorragender Forschungsarbeiten verlieh das Komitee des „18th International Symposium on High Voltage Engineering“ (ISH) 2013 den „Young Researcher Award“ an 20 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Professor Ja-Yoon Koo überreichte als Chairman der ISH 2013 diesen Preis unter anderem an Frau Dipl.-Ing. Maria Hering für ihren Beitrag „Investigation of the Temperature Influence on the Breakdown Voltage in Gas Insulated Systems under DC Voltage Stress“. Wir gratulieren recht herzlich.

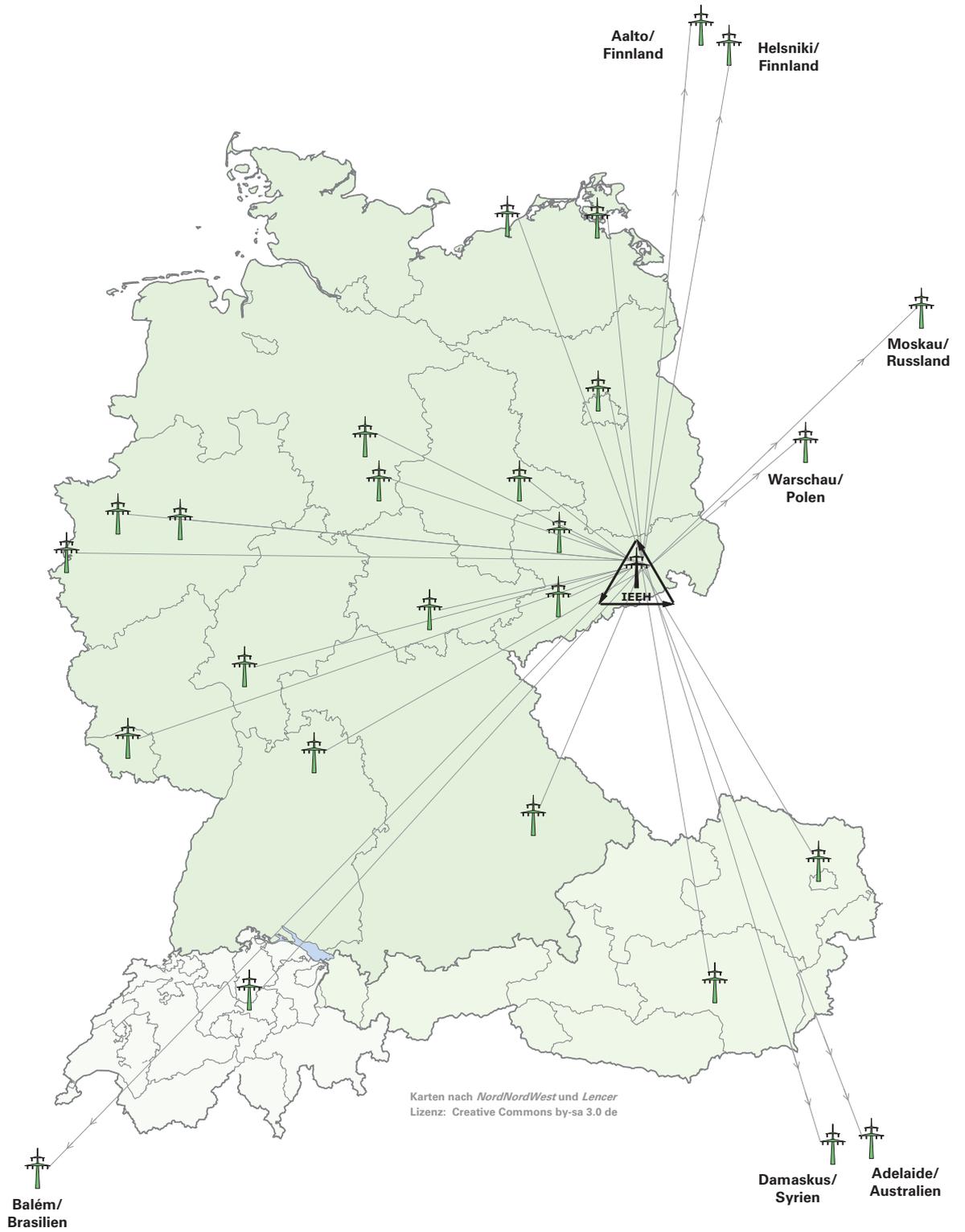


ÜBERREICHUNG DES PREISES

4 Kooperationen

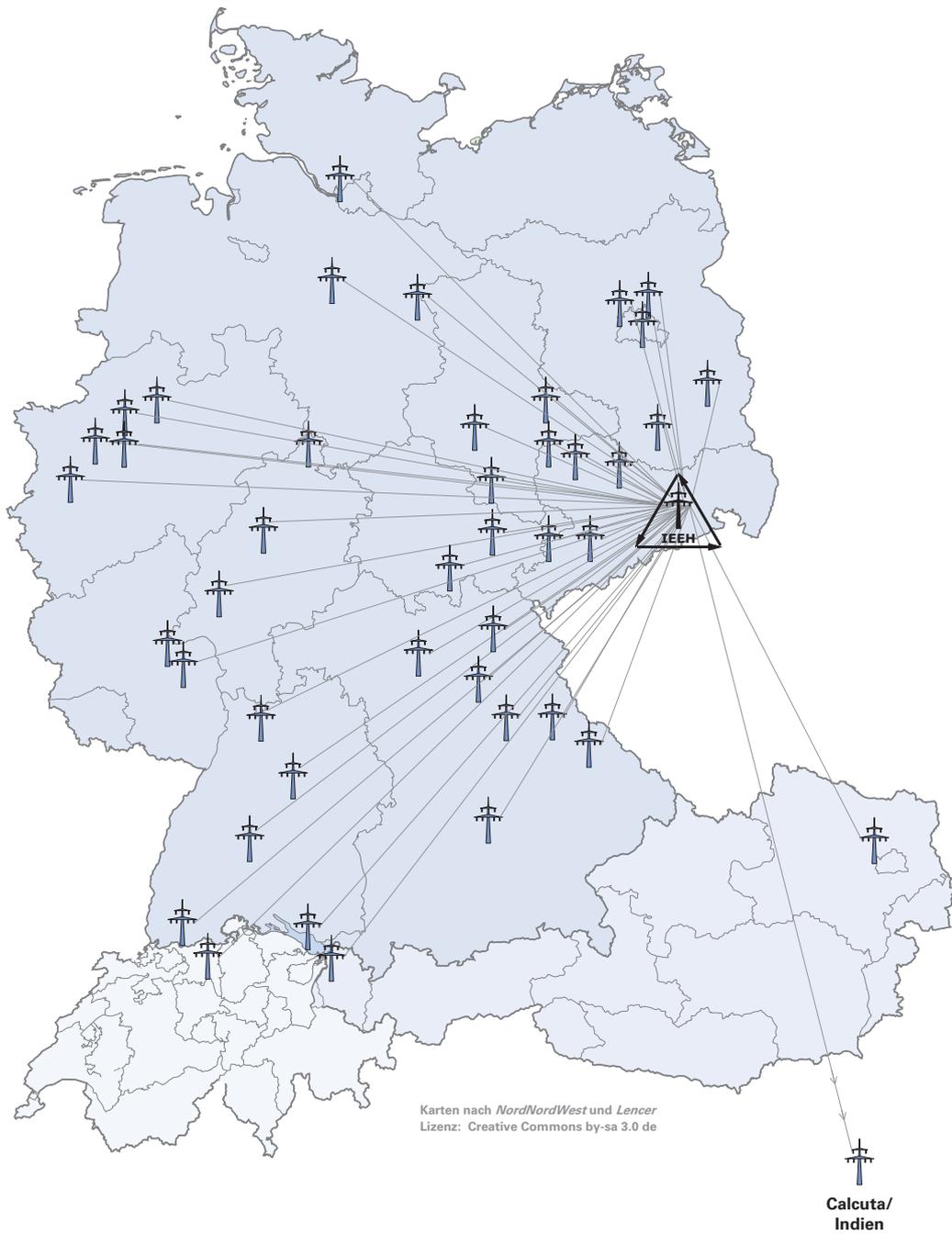
4.1 Wissenschaftskooperationen

Aalto University/ Finnland	Technische Universität Berlin
CEN SIPAM-Centro Gestor e Operacional do Sistema de Protecao da Amazonia, Brasilien	Technische Universität Braunschweig
DAMASCUS UNIVERSITY	Technische Universität Chemnitz
ETH Zürich	Technische Universität Darmstadt
fem Forschungsinstitut Edelmetalle & Metallchemie	Technische Universität Graz/ Österreich
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Technische Universität Ilmenau
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover	Technische Universität München
Helsinki University of Technology	Technische Universität Wien/ Österreich
Hochschule Zittau/Görlitz (FH)	Tishreen University Lattakia- Fac. of Mechanical & Electrical Engineering, Syrien
HTW Dresden	UFPA-Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará - Faculdade Engenharia Elétrica, Brasilien
HTW Saarland, Saarbrücken	Universität Dortmund
HTWK Leipzig	Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg
INP Greifswald e.V.	Universität Rostock
MPEI Moskau Russland	Universität Siegen
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	Universität Stuttgart
Port Said University- Electrical Engineering Department, Ägypten	University of Adelaide/ Australien
RWTH Aachen	Wroclaw University of Technology/ Polen
Suez Canal University-Faculty of Engineering-Electrical Department, Ägypten	



4.2 Industriekooperationen

50Hertz Transmission GmbH	LTB Leitungsbau GmbH
ABB Asea Brown Boveri Ltd	Maschinenfabrik Reinhausen
Alcan Singen GmbH und CO. KG	MERSEN Deutschland FFM AG
Alexander Binzel Schweisstechnik GmbH & Co. KG	Mitteldeutsche Netzgesellschaft Strom mbH
ALSTOM Grid	Multi-Contact AG
Amprion GmbH	Nexans Power Accessories Germany GmbH
AREVA Energietechnik GmbH	NH-HH-Recyclingverein
ASBESCO (INDIA) PVT. LTD.	ÖBB Infrastruktur AG Wien
Audi AG	Omicron electronics GmbH
Betonbau GmbH	PARTZSCH Elektromotoren e. K
BSD Bildungs- und Servicezentrum GmbH	Pfiffner Messwandler AG
Callpack GmbH	PFISTERER SEFAG AG
Canzler Ingenieure GmbH	PPC Insulators GmbH
Dehn & Söhne GmbH	Pronutec GmbH
Doble Lemke GmbH	Ribe-SubCon GmbH
DREWAG Stadtwerke Dresden GmbH	Richard Bergner Elektroarmaturen GmbH & Co. KG
E.ON Avacon	RITZ Instrument Transformers GmbH
E.ON Bayern AG	Robert Bosch GmbH
E.ON edis AG	RWE AG
ELECTRONICON Kondensatoren GmbH	Scheidt GmbH & Co KG
Elektrokeramik Sonneberg GmbH	Schneider Electric GmbH
EnBW Energie Baden-Württemberg AG	SGS Société Générale de Surveillance Holding (Deutschland) GmbH
EnBW Regional AG	Siemens AG
ENSO Energie Sachsen Ost AG	SMA Technologie GmbH
envia Mitteldeutsche Energie AG	SMT & HYBRID GmbH
ESA Elektroschaltanlagen Grimma GmbH	Spitzenberger & Spies GmbH & Co. KG
Europoles GmbH & Co. KG	Stadtwerke Oranienburg
FEAG GmbH	TenneT TSO GmbH
fuseXpert	thv AG
GWT-TUD	ThyssenKrupp Aufzüge GmbH
HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH	TÜV Süddeutschland Holding AG
Ingenieurbüro für technisches Management - Rüdiger ITM	Vattenfall Europe Distribution GmbH
ivis gmbh	VEM motors GmbH
Jean Müller GmbH	VEM Sachsenwerk GmbH
KEMA IEV GmbH	VNG – Verbundnetz Gas Aktiengesellschaft
Lanz Oensingen AG	Werner Industrielle Elektronik - Werner GmbH
LAPP Insulator GmbH	Witthinrich GmbH



4.3 Kommissions- und Gremienarbeit

4.3.1 Lehrstuhl Elektroenergieversorgung

Dozent Dr.-Ing. Hartmut Bauer

- VDE-Ausschuss *Sicherheits- und Unfallforschung* (stv. Obmann)
- VDE-Arbeitskreis *Schutz- und Automatisierungstechnik*
- VDE Dresden Arbeitskreis: *Koordination der Isolation*

Dipl.-Ing. Jörg Dickert

- VDE Task Force *Grundsätzliche Auslegung Neuer Netze*
- VDE Dresden Arbeitskreis: *Verteilungsnetze*

Dr.-Ing. Jan Meyer

- VDE Dresden Arbeitskreis: *Netzurückwirkungen*
- DK CIRED und CIRED Session Advisory Group (Session 2)
- CIGRE Working Group C4.112 *Guidelines for Power quality monitoring – measurement locations, processing and presentation of data*
- VDE/FNN Expertennetzwerk *Netzurückwirkungen*
- D-A-CH-CZ Arbeitsgruppe *EMV* (Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen)
- DKE/UK 767.1 *Niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen* (Gastmitglied)

Dr.-Ing. Jörg Meyer

- VDE (ETG) Task Force *Aktive EnergieNetze*

Dipl.-Ing. Sascha Müller

- Jungmitgliederreferent VDE Dresden

Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner

- VDE (ETG) Task Force *Grundsätzliche Auslegung Neuer Netze* (Vorsitzender)
- CIGRE Study Committee B5 *Protection and Automation*
- Mitglied des Fachkollegiums 408-03 Elektrische Energieerzeugung, -übertragung, -verteilung und -anwendung der DFG
- Council member of the Power Systems Computation Conference (PSCC)
- Freunde und Förderer der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik (Mitglied des Vorstands)
- VDE Dresden Arbeitskreis: *Relais- und Schutztechnik*

Dr.-Ing. Uwe Schmidt

- VDE Dresden Arbeitskreis: *Koordination der Isolation (Vorsitzender)*
- VDE Dresden Arbeitskreis: *Kabeltechnik*
- DKE/K 122 *Isolationskoordination*

Dipl.-Ing. Jens Werner

- VDE (ETG) Task Force *Wärme- und Kälteversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien*

4.3.2 Lehrstuhl Hochspannungs- und Hochstromtechnik

Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann

- Dekan der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Mitglied der Bereichsleitung des Bereichs Ingenieurwissenschaften
- Mitglied im Vorstand des VDE-Bezirksverein Dresden e.V.
- Mitglied im Arbeitskreis *Hochspannungsgeräte und -anlagen* im VDE-BV Dresden
- Mitglied im VDE-ETG-Fachbereich Q3 *Kontaktverhalten und Schalten*
- Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e.V.
- CIGRÉ-WG D1.54 – Principles to measure the AC and DC resistance of conductors

Dipl.-Ing. Hans-Peter Pampel

- UK 214.5 *Ausrüstungen und Geräte zum Arbeiten unter Spannung; Arbeitsgeräte und starre Schutzvorrichtungen* der DKE
- Fachausschuss V2.2 *Arbeiten unter Spannung* der ETG im VDE

5 Veranstaltungen

Wissenschaftliche Kolloquien des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik

Herr Dr. Fiebig, PEHLA-Fachgutachter:

Typprüfung und Produktzertifizierung von Hochspannungsschaltgeräten

Dresden, 08.01.13

Herr Vogler, unabh. Sachverständiger für Hoch- und Niederspannungsanlagen, Berlin:

Lichtbogenstörungen im Mittelspannungsnetz – Probleme in den Übergabestationen bei Anschluss von PV- und Biogasanlagen

Dresden, 28.05.13

Herr Prof. Dr. Kupfer, Kupferhaus Berlin:

Elektro- und Blitzunfälle - Wirkungsmechanismen

Dresden, 26.03.13

Herr Prof. Dr. Eichhorn, HTWK Leipzig:

Wirkung und Bewertung niederfrequenter Felder auf Lebewesen

Dresden, 26.03.13

Herr Dr. Speh, Siemens AG München:

Das neue Energiezeitalter - Hybride Lösungen als Schlüsselfaktor

Dresden, 26.03.13

Herr Prof. Dr. Hentschel, Alstom Grid GmbH Dresden:

Netzanbindung von Offshore Windparks

Dresden, 26.03.13

Herr Buchweitz, PSI AG Aschaffenburg:

Energiewende - neue Anforderungen an die Netzleittechnik

Dresden, 26.03.13

Herr Doz. Dr. Bauer, TU Dresden, IEEH:
Kernkraftwerke nach Fukushima
Dresden, 26.03.13

Herr Dr. Schmidt, TU Dresden, IEEH:
*Blitzströme und Blitzdichte der Jahre 2000 bis 2008 – Blitzinformations-
system BLIDS*
Dresden, 04.06.13

Herr Dr. Demmig, Vattenfall Europe Distribution Berlin GmbH
Schwarzstartversuch im Netz des Berliner Verteilungsnetzbetreibers
Dresden, 25.06.13

Herr Sternkopf, Younicos, Berlin:
*Systemdienstleistungen – Der Beitrag von Speichern zum Gelingen der
Energiewende*
Dresden, 02.07.13

Herr Dr. Prinz, PM-Powerconsulting GmbH, Erfurt:
*Anforderungen an regenerative EZA bei Netzanbindung im Zuge der Ener-
giewende*
Dresden, 17.12.13

Studentenexkursion Umspannwerk Dresden-Mitte

Im Rahmen der Vorlesung Elektroanlagenprojektierung findet regelmäßig eine Exkursion in ein Umspannwerk der DREWAG statt. Die diesjährige Besichtigung fand am 16.01.2013 statt. Besichtigt wurde das 110/20/10-kV-Umspannwerk Dresden-Mitte. Die Studenten erhalten damit die Möglichkeit die praktische Anwendung des in der Vorlesung theoretisch vermittelten Wissens kennenzulernen. Abgerundet wurde der Besuch durch die fachkundige Führung eines DREWAG-Mitarbeiters.



FREILUFTANLAGE



WARTENRAUM

„Power“- Grill am 05.06.2013

Im Rahmen des „Power“- Grillens hinter der Hochspannungshalle nutzten auch 2013 wieder zahlreiche Studenten die Gelegenheit zum Gespräch mit den Hochschullehrern und Mitarbeitern des Elektrotechnischen Instituts (ETI) und des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH). Den interessierten, angehenden Ingenieuren bot sich die Möglichkeit, mehr über die Vertiefungsrichtung Elektroenergietechnik im Hauptstudium zu erfahren. Die Hochspannungshalle sowie die Praktikumsversuchsstände und die aktuellen Projektarbeiten der Institute wurden bei Laborbesichtigungen vorgestellt. Somit konnten in lockerer Atmosphäre bei Grillgut Fragen beantwortet, Eindrücke für kommende Semester gewonnen und neue Kontakte geknüpft werden. Auf eine gute Zusammenarbeit zwischen Lehrenden und Studierenden wird an unserem Institut in besonderem Maße Wert gelegt.

„Dresdener Kreis 2013“ am 03. und 04.04.2013

Am 03. und 04. April 2013 fand das 14. Treffen des Dresdener Kreises an der Universität Duisburg-Essen in Duisburg statt.

Die Veranstaltung begann am frühen Nachmittag des ersten Tages mit einer Vortragsreihe bestehend aus vier Präsentationen. Dabei wurden viele interessante Projekte aus unterschiedlichen Bereichen der elektrischen Energieversorgungstechnik vorgestellt. Bei einer anschließenden Führung stellte Herr Prof. Erlich die Arbeitsschwerpunkte des Fachgebiets „Elektrische Anlagen und Netze“ vor.

Am darauf folgenden Tag besuchten die Teilnehmer des Dresdener Kreises die Technische Universität Eindhoven, wo die zweite Vortragsreihe stattfand, bei der sich auch die Firma „Repower“ und die einzelnen Arbeitsgruppen der Abteilung für Elektrotechnische Energiesysteme der TU Eindhoven vorstellten. Bei einem anschließenden Rundgang bekamen die Teilnehmer des Dresdener Kreises einen Einblick in die Forschungsschwerpunkte der Universität.

Das Treffen endete mit einem gemeinsamen Abendessen und Gedankenaustausch im gemütlichen Duisburger Restaurant „Diebels im Hafen“.



GRUPPENFOTO DES DRESDENER KREISES AN DER TU EINDHOVEN

Studentenexkursionen

Im Rahmen von Lehrveranstaltungen wurden folgende Exkursionen durchgeführt:

- 380-kV-Schaltanlage Dresden Süd der 50Hertz Transmission GmbH zur Vorlesung „Elektroenergieversorgung“ für WIng am 26.06.2013
- Feldmessungen (E und B) in der 380-kV-Schaltanlage Dresden Süd der 50Hertz Transmission GmbH zur Vorlesung „Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung“ am 04.07.2013
- 380-kV-Schaltanlage Dresden Süd der 50Hertz Transmission GmbH und Gasturbinen-Heizkraftwerk Nossener Brücke der DREWAG zur Vorlesung „Elektrische Energietechnik“ am 23.08.2013



STUDENTEN BEI DER MESSUNG DER ELEKTRISCHEN FELDSTÄRKE E IN DER 380-KV-SCHALTANLAGE DES UW DRESDEN SÜD

Foto: Hartmut Bauer

Workshop „Sternpunktbehandlung in 110-kV-Netzen - Perspektiven unter dem Gesichtspunkt der Energiewende“

Im Rahmen des durch den Europäischen Sozialfond ESF geförderten Projektes „Energiewende Sachsen – ENERSAX“ wurde am 17. Mai 2013 ein Workshop durchgeführt, der sich mit aktuellen Fragestellungen der Sternpunktbehandlung in 110-kV-Netzen beschäftigte. Insbesondere der Zubau regenerativer Erzeugungsanlagen, die Einbindung neuer Freileitungs- und Kabeltrassen hat Einfluss auf die Sternpunktbehandlung in den Verteilnetzen. In den Vorträgen wurde im Schwerpunkt der Einfluss verschiedener Faktoren auf den Fehlerstrom (Erdschluss-Reststrom) bei der Resonanz-Sternpunktterdung erläutert. Vortragende waren unter anderem Prof. Dr. Fickert (TU Graz), Dr. Pietzsch (DNV-KEMA), Dr. Druml (Trench Austria) und Dipl.-Ing. Bartholomäus (HTWK Leipzig). Dr. Schmidt (TU Dresden) stellte den derzeitigen Forschungsstand zur Berechnung von Erdschluss-Restströmen unter Berücksichtigung der Netzkonfiguration und der Oberschwingungspegel im 110-kV-Netz vor.

VDE-Exkursion Elektroenergietechnik 21.-24.05.2013

In diesem Jahr wurde die Exkursion Elektroenergietechnik für Studenten im VDE-Bezirksverein Dresden von der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik organisiert und bot den Studenten der TU Dresden und der Hochschule Zittau die Gelegenheit, Hersteller von Komponenten und Anlagen der Elektroenergietechnik kennenzulernen. Das reichte vom Herstellen und Prüfen moderner Hochspannungsisolatoren, Freileitungsmasten und Mittelspannungsschaltanlagen, Blitzschutztechnik und Stufenschaltern für Transformatoren bis zu großen elektrischen Antriebssystemen für Industrie und Verkehr sowie leistungselektronischen Anlagen für HGÜ-Systeme.

Ein besonderer Dank gilt den Unternehmen, die alle hervorragende Gastgeber waren: LAPP Insulators in Wunsiedel, Schneider Electric und die Maschinenfabrik Reinhausen in Regensburg, DEHN und SÖHNE und EUROPOLES in Neumarkt, SIEMENS Large Drives in Nürnberg und SIEMENS Power Transmission Division (HGÜ) in Erlangen.

Im Rahmen des kulturellen Begleitprogramms führte uns eine Mitarbeiterin von Schneider Electric am Abend durch die historische Altstadt von Regensburg, wir besuchten in Nürnberg das Dokumentationszentrum Reichsparteitagsgelände und bummelten am Abend durch die Nürnberger Altstadt. Studenten aus Zittau hatten sich zum Abschluss der Reise auf eine Führung durch das historische Bamberg vorbereitet und konnten hier Interessantes berichten.



BESUCH BEI LAPP INSULATORS IN
WUNSIEDEL

Fotos: Prof. Großmann



DOKUMENTATIONSZENTRUM
REICHSPARTEITAGSGELÄNDE IN
NÜRNBERG

Ehrenkolloquium für Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer

Am 26. März 2013 führte unser Institut ein Ehrenkolloquium durch. Anlass war der 70. Geburtstag von Herrn Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer. Herr Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner begrüßte die Teilnehmer und würdigte die wissenschaftlichen Leistungen des Jubilars in Lehre und Forschung.

Er dankte Herrn Dr. Bauer für die auch in den vergangenen fünf Jahren realisierten Lehrverpflichtungen, wie Vorlesungen zu „Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung“, „Stations- und Netzleittechnik“ (bis 2012), und „Elektroenergietechnik“ (bis 2011).

Herr Prof. Schegner lobte das Engagement des Jubilars bei der ehrenamtlichen Arbeit im VDE in den Arbeitskreisen „Schutz- und Automatisierungstechnik“, „IEC 61850 Prozessbus und Monitoring“, „Koordination der Isolation“ und als stellv. Obmann des VDE-Ausschusses „Sicherheits- und Unfallforschung“.

Die daran anschließenden Vorträge wurden von Fachkollegen gehalten, die sich mit Doz. Dr. Bauer durch langjährige gemeinsame Arbeit in den Arbeitskreisen verbunden fühlen. Anschließend folgte ein gemeinsamer Gedankenaustausch.



GRATULATION DURCH HERRN PROF. SCHEGNER
Fotos: Dr. Jörg Meyer



VORTRAG VON HERRN
DR. SPEH



VORTRAG VON HERRN
DOZ. DR. BAUER

11. Dresdner Lange Nacht der Wissenschaften 2013

Am Freitag, den 05. Juli 2013 öffneten sechs Dresdner Hochschulen sowie 36 außeruniversitäre Forschungsstellen und wissenschaftsnahe Unternehmen ihre Türen für Interessierte. Wie in jedem Jahr beteiligte sich auch der Lehrstuhl wieder an der bereits „11. Dresdner Langen Nacht der Wissenschaften“.

Ein Teil der insgesamt 36.000 Besucher konnte an den Experimentalvorträgen mit dem Titel „Faszination Elektrizität - Experimentalvortrag zu hochspannungstechnischen Phänomenen und technischen Lösungen“ teilnehmen. Neben Live-Experimenten zu Entladungsphänomenen wurden Trends in der Elektroenergietechnik und praktische Anwendungen vorgestellt. Zudem wurde über aktuelle Forschungsinhalte berichtet. Unser Team hat sich sehr gefreut, dass auch in diesem Jahr wieder alle Veranstaltungen voll besetzt waren.



EXPERIMENTALVORTRAG IN DER HOCHSPANNUNGS-
HALLE



EMPFANG DER GÄSTE
AM EINLASS

Assistentenausflug der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik vom 31.05. – 02.06.2013 nach Müllrose im Schlaubetal

Am Lehrstuhl für Hochspannungs- und Hochstromtechnik ist es seit langer Zeit Tradition, dass der Heimatort eines wissenschaftlichen Mitarbeiters erkundet wird. Dazu wurden in diesem Jahr die Mitarbeiter/ -innen mit ihren Familien nach Müllrose, dem „Tor zum Schlaubetal“, eingeladen.

Nachdem wir am Freitagnachmittag die B 87 in Richtung Frankfurt / Oder verlassen hatten, erreichten wir den kleinen Erholungsort Müllrose mit seinen rund 4500 Einwohnern und dem „Großen Müllroser See“. Nach der Besichtigung der jeweiligen Übernachtungsstätten kehrten wir im Gasthof „Zur Linde“ ein, um uns für die kommenden Tage zu stärken.

Samstagmorgens trafen wir uns bei dem Klosterstift Neuzelle – auch bekannt als Barockwunder Brandenburgs. Die Klosteranlage wurde 1268 vom Meißenner Markgrafen Heinrich dem Erlauchten gegründet. Ein zweistündiger Rundgang führte durch die katholische Stiftskirche St. Marien, die evangelische Pfarrkirche zum Heiligen Kreuz und den Klostergarten.



STIFTSKIRCHE ST. MARIEN „VILLA DEL LAGO“AM SEE URIGES MITTAGESSEN

Danach erhielten wir am Nachmittag einen Einblick in die klösterliche Braukunst des Neuzeller Bieres, mit der Jahrhunderte alten Brautradition aus vielen europäischen Regionen, und anschließender Verkostung der schmackhaften Bierspezialitäten.

Am Abend kehrten wir in das italienische Restaurant „Villa del Lago“ mit direktem Zugang zum Großen Müllroser See ein. Von diesem See und seinem 3 m – Turm fühlte sich der eine oder andere animiert, einen mutigen Sprung ins kühle Nass zu wagen. Bei gutem italienischen Essen und Wein ließen wir den Abend mit Seeblick gemütlich ausklingen.

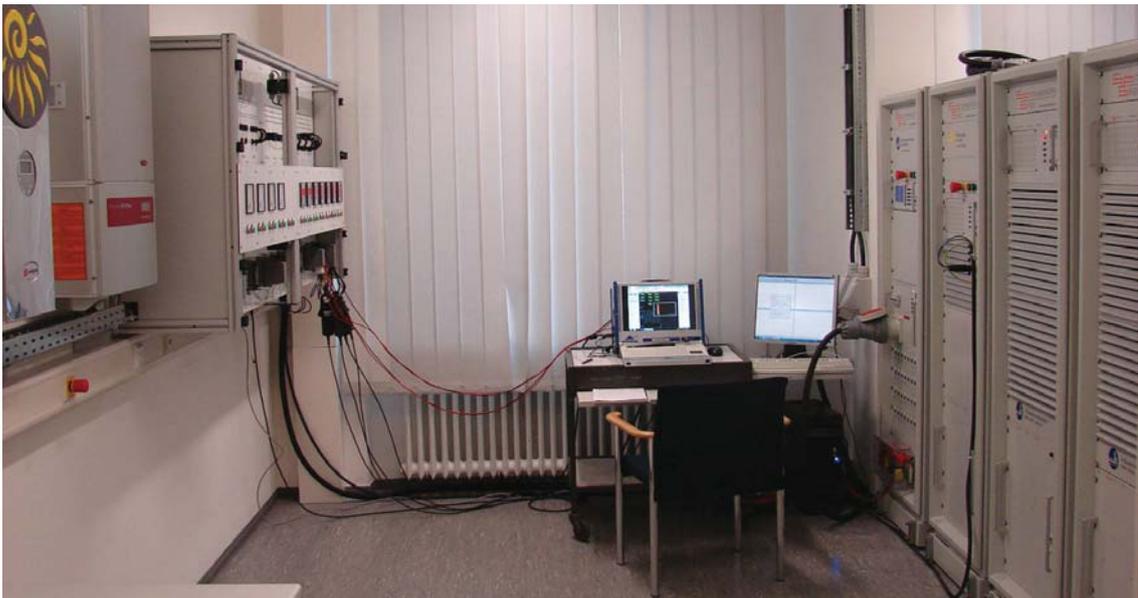
Sonntags gab es aufgrund der Wetterlage eine Planänderung. Statt der gebuchten Kanufahrt wurden wir von einer Insiderin an unserer Seite durch die schöne Kreisstadt Beeskow geführt. Die Assistentenfahrt endete bei einer urigen Mittagsrunde im „Germanischen Langhaus zu Krügersdorf“.

Feierliche Einweihung des Teststands zur Netzsimulation im Projekt ElmoNetQ

Im Zuge des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekts „ElmoNetQ“, welches die Netzurückwirkungen von Elektrofahrzeugen und Photovoltaikanlagen erforscht, wurde am 31.05.2013 ein Teststand feierlich an der TU Dresden eingeweiht. Die Messungen am Teststand bilden die Grundlage für die Entwicklung genauer Simulationsmodelle zur Untersuchung verschiedener Netzurückwirkungen, wie z. B. Unsymmetrie, niederfrequente Harmonische und höherfrequente Emission.

Zu diesem Anlass erschienen zahlreiche Vertreter der Projektpartner und des Fördermittelgebers. Nach einer kurzen Begrüßung folgten Vorträge, welche des Forschungsprojekt sowie Aufbau und Möglichkeiten des Teststandes vorstellten. Danach wurden durch Mitarbeiter des IEEH einige Beispielmessungen bei getrenntem und gemeinsamem Betrieb eines Elektrofahrzeugs und eines Photovoltaik-Wechselrichters unter verschiedenen Netzbedingungen gezeigt.

Ein kleiner Sektempfang bildete den Abschluss der Veranstaltung und wurde für rege Diskussionen genutzt.



TESTSTAND DES PROJEKTS „ELMONETQ“

Workshop: „Power Quality in future networks“

Bei der CIRED Konferenz im Juni 2013 entstand die Idee, einen gemeinsamen Workshop durchzuführen, der die Möglichkeit bietet, die begonnenen Diskussionen und den wissenschaftlichen Austausch weiterzuführen und zu vertiefen. Aus diesem Anlass kamen am 11.09.2013 Mitglieder der Luleå Tekniska Universtitet und der Chalmers Tekniska Högskola aus Schweden, sowie der Universidad de Córdoba aus Spanien in Dresden mit den Kollegen der Arbeitsgruppe Elektroenergiequalität zu einer ganztägigen Veranstaltung zusammen.



DIE TEILNEHMER DES WORKSHOPS

Am Vormittag wurden die Universitäten und Institute, sowie die individuellen Forschungsgebiete in mehreren Kurzvorträgen vorgestellt. Nach dem gemeinsamen Mittagessen wurden die Labore des IEEH besichtigt. Es folgten Vorführungen der Messungen für die Datenbank über die harmonischen Aussendungen von Haushaltsgeräten¹, des Versuchsstandes zu den Netzurückwirkungen von Photovoltaik-Anlagen und der Ladung von Elektrofahrzeugen², sowie des Systems zur Messung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Spannungswandlern. Im Anschluss wurden tiefergehende Einzelgespräche geführt, je nach individuellem Interesse. Den Abschluss bildete ein Stadtrundgang durch Dresden und ein gemütliches Abendessen mit den Gästen.



VORFÜHRUNG BEIM LABORRUNDGANG

¹<http://panda.et.tu-dresden.de>

²<http://elmonetq.et.tu-dresden.de>

21. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik 11. – 13.07.2013 in München

In diesem Jahr lud der Lehrstuhl für Hochspannungs- und Anlagentechnik der TU München unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Josef Kindersberger die Partnerlehrstühle aus Darmstadt, Ilmenau, Zittau/ Görlitz und Dresden in seine Räumlichkeiten ein.

Das Treffen bot allen Lehrstühlen die Möglichkeit, aktuelle Forschungsschwerpunkte und –neugigkeiten vorzustellen. Im Fokus der Fachvorträge standen diesmal die Themen elektrische Kontakte, Gleichspannung, Erosion durch Teilentladungen und Maschinenisolierungen.

Neben dem wissenschaftlichen Austausch sollte auch die kulturelle und kulinarische Weiterbildung nicht zu kurz kommen. So führte eine Exkursion die Kolloquiumsteilnehmer in das Staatliche Museum Ägyptischer Kunst. Nach einem abendlichen Institutsrundgang warteten die Münchener Kollegen mit einer reichhaltigen, deftigen bayerischen Brotzeit auf, um den Abend in großer Runde ausklingen zu lassen. Traditionell wurde die Zeit auch genutzt, um dem Gastgeber eine kleine Aufmerksamkeit zu überreichen. In unserem Fall handelte es sich um ein „Ostpaket“ gefüllt mit typischen, festen und flüssigen Leckereien des Ostens.



ERSTES TREFFEN AM DONNERSTAG ABEND
Fotos: Isabell Hofer (TU München)



ERÖFFNUNG DES
KOLLOQUIUMS



ÜBERGABE DER GASTGESCHENKE

9. Fachtagung „Arbeiten unter Spannung (AuS)“ am 10. und 11.09.2013 an der TU Dresden

Die Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG) und der VDE-Bezirksverein Dresden luden erneut im September 2013 für zwei Tage zur 9. Fachtagung „Arbeiten unter Spannung (AuS)“ in das Hörsaalzentrum der Technischen Universität nach Dresden ein. Die Wissenschaftliche Tagungsleitung und ein Großteil der Organisation lagen wie bei den vergangenen Fachtagungen in den Händen unseres Institutes.

Das unverminderte Interesse am AuS spiegelte sich in 16 Beiträgen wider [1]. Ein erster Themenschwerpunkt zur Verantwortung und Sicherheit beim Arbeiten unter Spannung (7 Beiträge) griff Fragen gesetzlicher Bestimmungen und daraus resultierender Verantwortung, der Qualitätssicherung sowie zu Entwicklungen im Bereich der Normung auf. Das Arbeiten unter Spannung in Niederspannungsanlagen bildete den zweiten Themenschwerpunkt. Einerseits stand die BGI/GUV-I 5188 „Thermische Gefährdung durch Störlichtbögen - Hilfe bei der Auswahl der persönlichen Schutzausrüstung“ im Mittelpunkt (4 Beiträge). Andererseits wurde mit je einem Beitrag zu Arbeiten unter Spannung an Anlagen der regenerativen Energieerzeugung sowie an Hochvolt-Batterien der Blick auf Bereiche gelenkt, die in letzter Zeit an Bedeutung gewonnen haben. Der dritte Themenschwerpunkt (3 Beiträge) widmete sich dem Arbeiten unter Spannung in Mittelspannungsnetzen. Hier wurden Schlussfolgerungen für das AuS aus Sicht der Qualitätsregulierung in Verteilnetzen erörtert, Untersuchungen zum einpoligen Schalten temporärer Masttrennschalter im MS-Netz vorgestellt sowie über die Weiterentwicklung von der Reinigung zur Wartung luftisolierter Mittelspannungs-Lasttrennschalter berichtet.



EXPERIMENTALVORTRAG IN DER HOCHSPANNUNGSHALLE

Ergänzt wurde dieses Vortragsprogramm durch eine Fachausstellung und durch Vorführungen neuer und bewährter AuS-Technologien und -Ausrüstungen unter praxisnahen Bedingungen in der Hochspannungshalle des Institutes - für die Dresdner Tagung bereits Tradition.

[1] ETG-Fachbericht Band 137, *Arbeiten unter Spannung (AuS) - Vorträge der ETG-Fachtagung vom 10. bis 11. September 2013 in Dresden*. 3. Auflage. VDE VERLAG GMBH, Berlin Offenbach 2013.

Projekttag am 14.10.2013: Besuch der Kläranlage Dresden – Kaditz und der HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH

Der diesjährige Projekttag führte unser Institut in den Dresdner Westen, wo wir zunächst die zentrale Kläranlage Dresden – Kaditz besichtigen durften. Dort wurde in einem einleitenden Vortrag über die Geschichte des Standortes sowie über eine Vielzahl interessanter Fakten und Details der Dresdner Stadtentwässerung berichtet. In einer anschließenden Führung durch die Kläranlage wurde sehr anschaulich die Funktion und Wirksamkeit der Abwasserreinigung mit der neuen biologischen Abwasserbehandlungsanlage erläutert. Die Führung endete mit einem Aufstieg auf die schon von weitem sichtbaren Faultürme, die uns einen schönen Panoramablick über Dresdens Nordwesten boten.



BESUCH DER ZENTRALEN KLÄRANLAGE DRESDEN – KADITZ

Nach einem kurzen Fußweg schloss sich eine Besichtigung der in direkter Nachbarschaft gelegenen HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH an. Nachdem sich das Unternehmen mit seiner langjährigen, historisch gewachsenen Verbundenheit mit dem Institut vorgestellt hatte, wurden wir in einem interessanten Rundgang durch die Fertigungshallen des Unternehmens geführt. Hier haben wir einen spannenden Einblick in den Fertigungs- und Prüfprozesse verschiedener Systeme der Hochspannungsprüf- und Messtechnik erhalten.

Bei einem anschließenden gemeinsamen Mittagessen und einer Bowlingrunde ließen wir den Tag gemütlich ausklingen.

Anfahrtsskizze

Sitz des Institutes: Mommsenstraße 10/12 (Binderbau/Toeplerbau)
Erdgeschoss Zi. 124/125
01069 Dresden



So finden Sie zu uns:

- ab Dresden-Hauptbahnhof mit den Straßenbahnlinien 3 (Richtung Coschütz) und 8 (Richtung Südvorstadt) bis Haltestelle *Nürnberger Platz* und mit der Buslinie 66 (Richtung Coschütz/Mockritz) bis Haltestelle *Mommsenstraße*
- vom Flughafen Dresden mit S-Bahnlinie S2 bis Dresden-Hauptbahnhof
- über die Autobahn A 17, Abfahrt Dresden-Südvorstadt, in Richtung Stadtzentrum bis zur Universität (Mommsenstraße)