

Institut für Elektrische Energieversorgung  
und Hochspannungstechnik

# Jahresbericht 2009

## Inhalt

Personelle Besetzung	5
Lehre	11
Forschung	15
Dissertationen	59
Veranstaltungen	63
Anfahrtsskizze	77

Titelbild:

Technische Universität Dresden

Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik

Experimentalvortrag in der Hochspannungshalle

Überschlag bereegneter Stützisolator

Postanschrift:

Technische Universität Dresden  
Institut für Elektrische Energieversorgung  
und Hochspannungstechnik  
01062 Dresden

Besucheranschrift:

Mommsenstraße 10  
Binderbau  
Zi. 124/125  
01069 Dresden

Telefon: +49 (0) 351 463-34374/-33428

Telefax: +49 (0) 351 463-37036/-37157

Internet: <http://www.tu-dresden.de/etieeh/>



Sehr geehrte Freunde des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik,

mit dem vorliegenden Jahresbericht 2009 möchten wir Sie über Neuigkeiten des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik informieren.

Die gute Zusammenarbeit mit unseren Partnern in der Industrie und Energiewirtschaft sowie einige öffentlich geförderte Projekte haben uns auch im vergangenen Jahr wieder eine umfangreiche und erfolgreiche Forschung ermöglicht. So konnten wir 15 Doktoranden durch Drittmittel finanzieren. Wir bedanken uns ganz herzlich bei unseren Partnern für das entgegengebrachte Vertrauen und für die erfolgreiche Zusammenarbeit zum beiderseitigen Vorteil.

Ein besonderes Dankeschön gilt den ehemaligen Mitarbeitern unseres Instituts, Dr. Eberhard Engelmann, Dr. Hartmut Bauer und Dr. Helmut Löbl, die uns trotz ihres wohlverdienten Ruhestandes immer wieder mit Rat und Tat unterstützen.

Mit Optimismus schauen wir in das neue Jahr. Voller Spannung erwarten wir den Abschluss mehrerer Forschungsarbeiten mit Dissertationen. Höhepunkt wird gewiss im September 2010 die 8. VDE-Fachtagung „Arbeiten unter Spannung“ sein.

Große Bedeutung für die Lehre hat sicherlich der Beschluss der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, die Studiengänge Elektrotechnik, Mechatronik und Informationssystemtechnik als Diplomstudiengänge beizubehalten und diese inhaltlich und strukturell zu verbessern. Ein Schwerpunkt ist dabei eine intensive Betreuung und Unterstützung der Studenten, insbesondere, um den Erstsemestern den Übergang vom Gymnasium an die Universität zu erleichtern und die zu große Anzahl der Studienabbrecher zu reduzieren.

## **Jahresbericht 2009**

---

Die Zahl der Absolventen unserer Fakultät ist gemessen am Bedarf der Industrie an Diplomingenieuren der Elektrotechnik nach wie vor zu gering. Deshalb bietet die Fakultät seit drei Jahren sechswöchige Einführungskurse für Studienanfänger an, die sich zunehmender Beliebtheit erfreuen und Defizite durch die teilweise schlechte Eingangsqualifikation aufzeigt und Angebote zu deren Verbesserung unterbreitet. In den wieder eingeführten Seminargruppen betreuen erfahrene wissenschaftliche Mitarbeiter und Hochschullehrer Studierende des ersten Studienjahres und ermöglichen so eine engere Bindung an die Institute der Fakultät und lassen mögliche Schwachstellen früh erkennen.

Gemeinsam mit dem VDE-Bezirksverein Dresden werden Aktivitäten mit Gymnasien unterstützt, um geeignete Schüler für ein Studium der Elektrotechnik unter den verbesserten Studienbedingungen an unserer Fakultät zu begeistern.

Ich bedanke mich bei allen Mitarbeitern des Instituts, Freunden und Partnern, die unsere Arbeit mit Rat und Tat unterstützt haben.

Ich wünsche Ihnen ein gesundes, erfolgreiches und frohes Jahr 2010 und freue mich auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit.

Dresden, im Dezember 2009



Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann  
Institutsdirektor

## **Personelle Besetzung**

## Personelle Besetzung

---

### Mitarbeiter

An der Professur Elektroenergieversorgung konnten wir zum 01.11.2009 Herrn Dr.-Ing. Norbert Hertwig als neuen Mitarbeiter begrüßen. Er unterstützt uns bei der Arbeit an einem neuen AiF-Projekt.

Ebenfalls an der Professur Elektroenergieversorgung weilten Herr Prof. Rastko Zivanovic von der Universität Adelaide/Australien zu einem Forschungsaufenthalt im Januar und Herr Prof. Tadeusz Lobos aus Polen im Rahmen einer Mercator-Gastprofessur bis Oktober.



*Das Team des Instituts für Elektrische Energieversorgung  
und Hochspannungstechnik*

## Personelle Besetzung

---

	<b>Name und E-Mail-Adresse</b>	<b>Telefon (0351) 463-</b>
Hochschul- lehrer	Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann Institutsdirektor <a href="mailto:steffen.grossmann@tu-dresden.de">steffen.grossmann@tu-dresden.de</a>	33428
	Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner <a href="mailto:peter.schegner@tu-dresden.de">peter.schegner@tu-dresden.de</a>	34374
Professoren und Hoch- schullehrer in Ruhestand	Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Eberhardt	
	Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt	34574
	Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler	35088
	Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer <a href="mailto:hartmut.bauer@tu-dresden.de">hartmut.bauer@tu-dresden.de</a>	35104
	Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl <a href="mailto:loebl@ieeh.et.tu-dresden.de">loebl@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32138
Sekretariate	Regina Scharf <a href="mailto:scharf@ieeh.et.tu-dresden.de">scharf@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33202
	Ulrike Hendrich <a href="mailto:hendrich@ieeh.et.tu-dresden.de">hendrich@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33428
Wissenschaft- liche Mitarbei- ter	Dipl.-Ing. Hans-Peter Pampel (Laborleiter) <a href="mailto:pampel@ieeh.et.tu-dresden.de">pampel@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33103
	Dr.-Ing. Jan Meyer <a href="mailto:meyer@ieeh.et.tu-dresden.de">meyer@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	35102
	Dr.-Ing. Joachim Speck <a href="mailto:speck@ieeh.et.tu-dresden.de">speck@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33105
	Dr.-Ing. Norbert Hertwig <a href="mailto:hertwig@ieeh.et.tu-dresden.de">hertwig@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	35223
	Dipl.-Ing. Robert Adam <a href="mailto:adam@ieeh.et.tu-dresden.de">adam@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33080
	Dipl.-Ing. Falk Blumenroth bis 30.10.2009	

## Personelle Besetzung

---

Dipl.-Ing. Melanie Conrad <a href="mailto:conrad@ieeh.et.tu-dresden.de">conrad@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34948
Dipl.-Ing. Jörg Dickert <a href="mailto:dickert@ieeh.et.tu-dresden.de">dickert@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	35272
Dipl.-Ing. Etienne Gasch <a href="mailto:gasch@ieeh.et.tu-dresden.de">gasch@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32941
Dipl.-Ing. Christian Henze <a href="mailto:henze@ieeh.et.tu-dresden.de">henze@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	35353
Dipl.-Ing. Karsten Krätzschar <a href="mailto:kraetzschmar@ieeh.et.tu-dresden.de">kraetzschmar@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33080
Dipl.-Ing. Nils Lücke <a href="mailto:luecke@ieeh.et.tu-dresden.de">luecke@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32746
Dipl.-Ing. Jörg Meyer <a href="mailto:meyerjoerg@ieeh.et.tu-dresden.de">meyerjoerg@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32941
MSc Ghareeb Moustafa bis 21.11.2009	
Dipl.-Ing. Irina Ovsyanko <a href="mailto:ovsyanko@ieeh.et.tu-dresden.de">ovsyanko@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34789
Dr.-Ing. Solaiman Rahmoon bis 31.03.2009	
Dipl.-Ing. Stephan Schlegel <a href="mailto:schlegel@ieeh.et.tu-dresden.de">schlegel@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32746
Dipl.-Ing. Ronny Schneider <a href="mailto:schneider@ieeh.et.tu-dresden.de">schneider@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34756
Dipl.-Ing. Roberto Schulze <a href="mailto:schulze@ieeh.et.tu-dresden.de">schulze@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	35353
Dipl.-Ing. Philipp Stachel <a href="mailto:stachel@ieeh.et.tu-dresden.de">stachel@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	35272
Dipl.-Ing. Thomas Thronicker bis 31.01.2009	



## Personelle Besetzung

---

Technische Angestellte	Dipl.-Ing. (FH) Axel Göres <a href="mailto:goeres@ieeh.et.tu-dresden.de">goeres@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32613
	Dipl.-Ing. Günther Seidelmann (GWT) bis 31.08.2009	
	Waltraud Müller <a href="mailto:muellerW@ieeh.et.tu-dresden.de">muellerW@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33307
Werkstatt	Ralf Dittrich <a href="mailto:dittrich@ieeh.et.tu-dresden.de">dittrich@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34745
	Michael Gläser <a href="mailto:glaeser@ieeh.et.tu-dresden.de">glaeser@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34260
	Gerd Jarosczi <a href="mailto:jarosci@ieeh.et.tu-dresden.de">jarosci@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34745
	Helge Knüpfel <a href="mailto:knuepfel@ieeh.et.tu-dresden.de">knuepfel@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34260
	Peter Wermuth <a href="mailto:wermuth@ieeh.et.tu-dresden.de">wermuth@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33516
Fax:	Prof. Elektroenergieversorgung	37036
	Prof. Hochspannungs- u. Hochstromtechnik	37157

## Personelle Besetzung

---

### Mitarbeit in Gremien

#### *Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann*

- Vorsitzender des Prüfungsausschusses der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Prodekan der Fak. Elektrotechnik und Informationstechnik seit November 2009
- Vorsitzender des VDE-Bezirksverein Dresden
- Arbeitskreis „Hochspannungsgeräte und -anlagen“ im VDE-BV Dresden

#### *Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner*

- Fachkollegiat der DFG
- persönliches Mitglied FGH, IEEE, VDE
- Dekan der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik (bis November 2009)
- Mitglied des Senats der TUD und des Fakultätsrates der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e.V.
- EMTP-Usergroup
- Vorstand der Freunde und Förderer d. Fak. Elektrotechnik u. Informationstechnik

#### *Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler*

- Expertennetzwerk „Spannungsqualität“ des FNN Berlin im VDE
- AK „Netzurückwirkungen“ im VDE-Bezirksverein Dresden
- AK D-A-CH-CZ EMV/PQ „Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen“

#### *Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt*

- Geschäftsführer VDE-Bezirksverein Dresden
- Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e.V.

#### *Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer*

- VDE-Ausschuss „Sicherheits- und Unfallforschung“ (stv. Obmann)
- AK 952.0.2 „IEC 61850 Prozessbus und Monitoring“ der DKE
- ETG-ITG-GAK „Schutz- und Automatisierungstechnik“
- K122 „Isolationskoordination“ der DKE
- AK 10 „Koordination der Isolation“ beim VDE-BV Dresden
- Leiter der Studienrichtung Elektroenergietechnik (bis August 2009)
- Mitglied der Studienkommission Elektrotechnik (bis August 2009)
- persönliches Mitglied VDE, CIGRE, FGH Mannheim, Deutscher Hochschulverband

#### *Dr.-Ing. Jan Meyer*

- AK „Netzurückwirkungen“ im VDE-Bezirksverein Dresden
- AK D-A-CH-CZ EMV/PQ „Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen“
- Deutsches Komitee CIREC

#### *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

# Lehre

## Lehre

---

### Grundstudium

Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
Elektrische Energieübertragung Prof. Dr.-Ing. Schegner	2 / 1 / 0	
Elektroenergietechnik Doz. Dr.-Ing. Bauer	0 / 0 / 1	2 / 1 / 0
Elektronische Gerätetechnik / Thermische Dimensionierung PD Dr.-Ing. habil. Löbl – Diese Vorlesung wird gemeinsam mit Prof. Dr.-Ing. habil. J. Lienig gehalten	2 / 1 / 0	

---

### Hauptstudium

Elektroenergiesysteme Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner		3 / 2 / 1
Elektroenergieanlagen Prof. Dr.-Ing. Schegner	2 / 1 / 0	
Netzbetrieb Prof. Dr.-Ing. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. Winkler	0 / 0 / 1	2 / 0 / 0
Rationelle Energieanwendung Prof. Dr.-Ing. Schegner / Prof. Dr.-Ing. habil. Winkler	2 / 0 / 0	
Netzberechnung Prof. Dr.-Ing. Schegner		2 / 2 / 0
Leittechnik Doz. Dr.-Ing. Bauer	2 / 1 / 0	0 / 0 / 1
Netzschutztechnik Prof. Dr.-Ing. Schegner	2 / 1 / 0	0 / 0 / 1
Elektroanlagenprojektierung Prof. Dr.-Ing. Schegner / Dr.-Ing. Hentschel		1 / 1 / 0
Hochspannungstechnik 1 Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck	0 / 0 / 2	2 / 1 / 0
Hochspannungstechnik 2 Prof. Dr.-Ing. Großmann / PD Dr.-Ing. habil. Löbl / Dr.-Ing. Speck	2 / 1 / 0	0 / 0 / 1
Hochspannungs-Isoliertechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck		2 / 0 / 0
Hochstromtechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann / PD Dr.-Ing. habil. Löbl		2 / 1 / 1
Hochspannungsgeräte Prof. Dr.-Ing. Großmann / PD Dr.-Ing. habil. Löbl	2 / 0 / 1	

---

	<b>Lehre</b>	
Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
Hochspannungs-Prüf- und Messtechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck		2 / 0 / 1
Blitzschutztechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann	1 / 1 / 0	
Statistik für Elektrotechniker Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck	2 / 0 / 1	
Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung Doz. Dr.-Ing. Bauer	1 / 1 / 0	
Oberseminar „Schutzkonzepte für Smartgrids in der Niederspannung“ Prof. Dr.-Ing. Schegner	1 / 0 / 0	
<b>Lehrexport an andere Fakultäten – Grundstudium</b>		
Elektrotechnik 1 + 2- für die Fakultät Maschinenwesen Prof. Dr.-Ing. Großmann	2 / 2 / 0	2 / 2 / 0
<b>Lehrexport an andere Fakultäten – Hauptstudium</b>		
Elektrische und magnetische Felder in der Nähe von Elektroenergieanlagen Studium Generale und Dresdner Bürger-Universität Doz. Dr.-Ing. Bauer	1 / 0 / 1	
Erzeugung, Übertragung und Verteilung von Elektroenergie Studium Generale und Dresdner Bürger-Universität Prof. Dr.-Ing. Schegner / Doz. Dr.-Ing. Bauer	2 / 0 / 0	
Elektrosicherheit und Versorgungszuverlässigkeit für Wirtschaftsingenieurwesen Doz. Dr.-Ing. Bauer	2 / 1 / 1	
Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure und Lehramt an berufsbildenden Schulen Doz. Dr.-Ing. Bauer		2 / 1 / 1
Hochspannungstechnik für Wirtschafts- und Verkehrsingenieure (Diplom) Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck	0 / 0 / 1	2 / 1 / 0
Hochspannungs- und Hochstromtechnik für Wirtschaftsingenieure (Bachelor) Prof. Dr.-Ing. Großmann		2 / 1 / 0



## **Forschung**

- **Elektrische Energieversorgung** Seite 18
- **Hochspannungstechnik** Seite 37
- **Hochstromtechnik** Seite 43

**Unsere Forschungspartner**

ABB

AiF

Alcan Singen GmbH

AREVA

Betonbau GmbH und Co. KG

BSD Bildungs- und Servicezentrum GmbH

Cellpack GmbH

DREWAG Stadtwerke Dresden GmbH

ELECTRONICON Kondensatoren GmbH

EnBW Energie Baden-Württemberg AG

ENSO Energie Sachsen Ost AG

E.ON edis AG

E.ON Avacon AG

ESA Grimma

enviaM

NEXANS / GPH GmbH

HEINE Resistors GmbH

High-Volt Prüftechnik Dresden GmbH

Lanz Oensingen AG

LDIC Lemke Diagnostic

LTB Dresden

MS Stäubli Group

Multicontact

OMICRON



Partzsch Elektromotoren  
PPC Insulators GmbH  
Pronutec  
RIBE Elektroarmaturen GmbH & Co KG  
RIBE Subcon  
Ritz Messwandler  
Ruhrtal Hochspannungsgeräte GmbH  
RWE  
Scheidt GmbH & Co, KG  
Siemens AG  
Stadtwerke Oranienburg  
SMT und Hybrid GmbH Dresden Weißig  
ThyssenKrupp Aufzugswerke  
Übigauer Schaltanlagen Uesa GmbH  
Vattenfall Europe Transmission GmbH  
VEM Sachsenwerk GmbH  
VEM Motors

### Elektrische Energieversorgung

Die Entwicklung der elektrischen Energieversorgung wird zurzeit durch die Integration von dezentralen und häufig dargebotsabhängig arbeitenden Energieerzeugungsanlagen in allen Spannungsebenen, durch den Einsatz von neuen innovativen Betriebsmitteln, durch die Regulierung auf dem Gebiet der Energieversorgungsnetze und durch die weitere Rationalisierung und Automatisierung des Netzbetriebes vorangetrieben. Gleichzeitig sollen aus wirtschaftlichen Gründen nicht nur einzelne Betriebsmittel sondern das gesamte Energieversorgungssystem höher ausgelastet und damit näher an dessen technischen Grenzen betrieben werden. Die sich daraus ergebenden Fragestellungen stehen im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der elektrischen Energieversorgung. Diese lassen sich in die folgenden Forschungsschwerpunkte zusammenfassen. Zu jedem Forschungsschwerpunkt wird eine Auswahl von den im letzten Jahr bearbeiteten Themen genannt.

- **Schutz- und Leittechnik**

Verstärkte Einbindung von großen Windparks in das Übertragungsnetz und Auswirkungen auf das Netzschutzsystem.

Auswirkungen der verstärkten Einbindungen von großen Windparks in das Übertragungsnetz auf das Netzschutzsystem.

Schutz- und Stationsleittechnik auf Grundlage von IEC 61850.

Automatisierte Auswertung von Stördaten als Grundlage für eine rechnergestützte Überwachung und Optimierung des Netzschutzsystems.

- **Netzbetrieb**

Beurteilung der Erdschlusslichtbogenlöschung in resonanzsternpunktgeerdeten Verteilnetzen unter besonderer Berücksichtigung der Harmonischen.

Einfluss von HGÜ-Verbindungen auf die Stabilität von Drehstromübertragungsnetzen.

Netzausbauplanung unter veränderten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Smart Energy Management – Intelligentes Energiemanagement von Strom – Gas – Wärme – Kälte.

Konzepte für den Netzausbau von städtischen Energieversorgungsnetzen unter besonderer Berücksichtigung von veränderten Einspeisebedingungen.

Ermittlung der Einflüsse auf die Lichtbogenlöschung während der Pausenzeit einer automatischen Wiedereinschaltung.

### ▪ **Elektrische und magnetische Felder**

Berechnung der niederfrequenten Felder von Elektroenergieanlagen und Bewertung entsprechend BGV B11, 26. BImSchV und EMV-Richtlinien.

Elektrische Felder von Hochspannungs-Freileitungen im Nahbereich von mobilen Arbeitsmaschinen und deren Arbeitsausrüstungen.

Freileitungsidentifikation aus Messergebnissen der elektrischen Feldstärke als inverses Problem der Feldberechnung.

Induktive Mittelspannungs-Stromwandler mit optimiertem Übertragungsverhalten im Frequenzbereich bis 10 kHz.

### ▪ **Elektromagnetische Verträglichkeit**

Einfluss von EMV- und Zuverlässigkeitsanforderungen auf die Leittechnik-Struktur nach IEC 61850.

### ▪ **Elektroenergiequalität und Netzzrückwirkungen**

Messgeräteunabhängiges Datenbanksystem zur zentralen Speicherung von Messdaten der Elektroenergiequalität.

Anwendung statistischer Methoden zur automatisierten und messortübergreifenden Bewertung der Spannungsqualität.

Untersuchung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Mittelspannungs-Spannungswandlern.

Automatisierte Verfahren zur Prüfung der Genauigkeit von PQ-Messgeräten nach IEC 61000-4-30.

Vergleichende Beurteilung verschiedener Verfahren zur Berechnung von Emissionsgrenzwerten für Oberschwingungen großer Anlagen.

Identifikation und Quantifizierung korrelativer Zusammenhänge zwischen elektrischer sowie klimatischer Umgebung und Elektroenergiequalität.



**Etienne Gasch, Dipl.-Ing.**

### **Genauigkeit von Stromsensoren zur Messung der Stromqualität**

Die Elektroenergiequalität unterteilt sich in die Spannungsqualität und in die Stromqualität. Die Spannungsqualität beschreibt den Zustand des Netzes. Die Stromqualität beschreibt die Störaussendung einzelner Abnehmer oder Abnehmergruppen. Ein Abnehmer wird dabei durch die Gesamtheit seiner Einzelgeräte charakterisiert. Eine Abnehmergruppe ist die Kombination aus ähnlichen Abnehmern an einem elektrisch nahe gelegenen Punkt. Die Spannungsqualität ist ein Resultat aus der Stromqualität aller Abnehmer in Verbindung mit ihrer Netzvorimpedanz.

Für die Analyse von Netzurückwirkungen ist es notwendig, Modelle für Abnehmer bzw. Abnehmergruppen zu entwickeln, welche die jeweilige Stromqualität repräsentieren. Die Stromqualität einzelner Abnehmer oder Abnehmergruppen kann nur probabilistisch angegeben werden. Für ein derartiges probabilistisches Modell sind eine Vielzahl von Stromqualitätsmessungen an den verschiedenen Abnehmern notwendig. Von besonderer Bedeutung sind dabei u.a. die Stromqualitätskenngrößen „Harmonische“ und „Flicker“.

Der Flicker wird durch Frequenzanteile von wenigen mHz bis ca. 20 Hertz bestimmt. Für die Oberschwingungen sind in der aktuellen IEC-Normung Grenzwerte bis 2 kHz festgelegt. Auf Grund des zunehmenden Einsatzes bspw. von selbstgeführten Wechselrichtern sind künftig vermehrt Oberschwingungen im Frequenzbereich von 2 kHz bis 9 kHz zu erwarten. Im Rahmen der Vorbereitung eines Messprogramms zur Charakterisierung von Abnehmern in Niederspannungsnetzen werden deshalb verfügbare Sensoren hinsichtlich ihrer Eignung für Messungen im Bereich von wenigen mHz bis 9 kHz untersucht.

Für die Strommessung stehen verschiedene technische Möglichkeiten zur Verfügung. Da an den vorgesehenen Messorten (bspw. in Kundenanlagen) zumeist nur Messtechnik verwendet werden kann, welche unterbrechungsfrei anzuschließen ist, können einige Stromsensoren, wie Shunts oder Zero-Flux-Wandler, nicht benutzt werden. Für die Messungen im gegebenen Frequenzbereich ist deshalb nur der Einsatz von Stromzangen oder Rogowskispulen möglich. Im Rahmen einer Voruntersuchung am Institut wurden die in Frage kommenden Stromsensoren auf ihre Genauigkeit untersucht. Als Referenz diente eine Messung mittels Shunt.

Dazu wurden mit einer Signalquelle verschiedene Testsignale ausgegeben. Als Last diente ein Widerstand. Die Spannungsausgangssignale aller Stromsensoren wurden mittels eines Transientenrekorders gleichzeitig aufgezeichnet.

Bild 1 zeigt das gemessene Frequenzspektrum ausgewählter Stromsensoren (R1 bis R3: Rogowskispulen; S1: Shunt; Z1: Stromzange) bei einem rechteckigen Spannungsverlauf. Die Aussteuerung der Sensoren wurde bewusst niedrig gewählt und lag für die Rogowskispulen bei ca. 13% und bei der Stromzange bei ca. 4%.

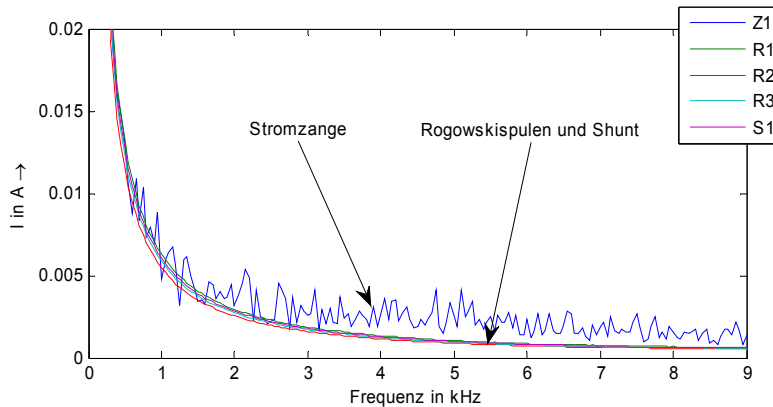


Bild 1: Frequenzspektrum verschiedener Stromsensoren bei 10 Hz Rechtecksignal

Wird eine flickerbehaftete Spannung an einen ohmschen Widerstand angelegt, so muss sich bei Auswertung des Stromes derselbe Flickerwert ergeben. Um die Genauigkeit der Stromsensoren zu verifizieren, wurde der Widerstand an die Netzspannung angeschlossen und der Kurzzeitflickerwert des Ausgangssignals der Stromsensoren exakt synchron zum entsprechenden Wert der Netzspannung berechnet. Alle Werte sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Kurzzeitflickerstärke (10 Minuten) des Stromes bei Netzspannung

Sensor	(Spannung)	S1	R1	R2	R3	Z1
$P_{st}$	0,35	0,34	0,91	0,51	0,37	2,95

Das Ergebnis zeigt zum einen, dass einige Sensoren für die Anwendung im unteren Frequenzbereich nicht geeignet sind (hohe Abweichungen der Flickerwerte vom Referenzwert). Im oberen Frequenzbereich (>50 Hz) zeigen die Rogowskispulen ein besseres Verhalten als die Stromzange. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Rogowskispulen im Rahmen des geplanten Messvorhabens eingesetzt werden können.



**Christian Henze, Dipl.-Ing.**

### **Methoden zur Freileitungsidentifikation auf der Grundlage von gemessenen Profilen der elektrischen Feldstärke**

Zur Vermeidung von elektrischen Unfällen bei Bauarbeiten mit mobilen Arbeitsmaschinen in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen ist ein neuartiges Schutzkonzept entwickelt worden. Hierzu ist die Freileitung vor Beginn der Arbeiten durch einen Kollisionsraum zu beschreiben und eine Kollisionsraumüberwachung in der Arbeitsmaschine während der Bauarbeiten durchzuführen. Grundvoraussetzung für die Bestimmung des Kollisionsraums ist die Identifikation der Freileitung, d.h. die Bestimmung der Leiterseilkoordinaten und der Spannungsebene, auf Grundlage von gemessenen Feldstärkeverläufen waagrecht unter und senkrecht neben der Freileitung [1].

Bei der Freileitungsidentifikation ist zwischen Verfahren zu unterscheiden, die eine mathematische Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der gemessenen unbeeinflussten elektrischen Feldstärke und deren Quellen, den Ladungen der Leiterseile, erfordern und solchen, die ohne ein solches mathematisches Modell auskommen. Im Rahmen der durchgeführten Forschungsarbeiten wurden jeweils zwei Verfahren für die Anwendung auf die Aufgabenstellung untersucht (Tabelle 1).

Das entworfene KNN erzielt vor allem bei der Ermittlung der Spannungsebene, der Leiterseilanzahl und des Mastbildes sehr gute Ergebnisse. Es ist ungeeignet zur Bestimmung der Leiterseilpositionen. Weiterhin muss gewährleistet sein, dass das KNN auch auf das zu ermittelnde Mastbild trainiert wurde. KNN können daher für die Gewinnung zusätzlicher hilfreicher Informationen, z. B. des Mastbildes und der Leiterseilanzahl, dienen. Als alleinige Applikation für sicherheitsrelevante Anwendungen sind sie nicht geeignet.

Die PSO benötigt ebenso wie die analytische Methode [2] ein mathematisches Modell des Zusammenhangs zwischen den Messwerten und den gesuchten Parametern der Freileitung. Hierfür sind gewisse Annahmen (Modell der unendliche langen Linienladungen, [2]) zu treffen, um dieses Modell erstellen zu können. Ein Vorteil der PSO ist, dass die Startwerte innerhalb eines sehr großen Intervalls liegen können und dennoch eine verwendbare Lösung ermittelt wird. Die Tests dieses Verfahrens zeigen jedoch, dass oft nur lokale Minima gefunden werden, die auch nach langer Berechnungszeit nicht wieder verlassen werden (Bild 1).

Tabelle 2: Übersicht untersuchter Verfahren zur Freileitungsidentifikation

Verfahren	Kurzbeschreibung	Bewertung
Empirisches Verfahren [2]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mathematisches Modell (MM) nicht erforderlich</li> <li>• regelbasiertes Verfahren</li> <li>• Analyse der gemessenen Feldstärkeprofile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• grobe Eingrenzung des Gefahrenbereichs der Freileitung</li> <li>• geringe Rechenzeit</li> </ul>
Künstliche neuronale Netze (KNN)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MM nicht erforderlich</li> <li>• Fähigkeiten werden durch ein Training auf Basis von bekannten Fällen erlernt</li> <li>• Aufbau einer Struktur von mehreren KNN's mit unterschiedlichen Aufgaben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gute Resultate bei Bestimmung der Spannungsebene, der Leiterseilanzahl und des Mastbildes</li> <li>• ungeeignet zur Bestimmung der Leiterseilpositionen</li> <li>• geringe Rechenzeit</li> </ul>
Particle Swarm Optimierung (PSO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MM erforderlich</li> <li>• stochastische Methode der nichtlinearen Optimierung</li> <li>• Kombination aus zielgerichteter und zufälliger Suche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• große Parameterintervalle möglich</li> <li>• erfordert lange Rechenzeiten</li> <li>• oft nur lokale Minima</li> </ul>
Analytisches Verfahren [2]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MM erforderlich</li> <li>• klassisches numerisches Verfahren zur lokalen Optimierung</li> <li>• erfordert Startwerte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr gute Ergebnisse bei hinreichend guten Startwerten</li> <li>• Berechnungszeiten sind deutlich kleiner als bei PSO</li> </ul>

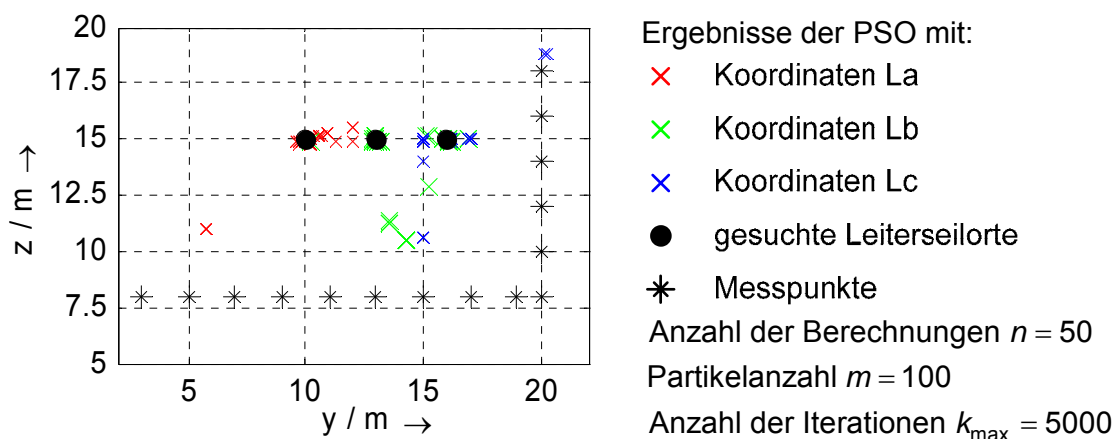


Bild 1: Verdeutlichung der mit der PSO berechneten Leiterseilorte

[1] Jahresbericht 2008, TU Dresden, IEEH

[2] Jahresbericht 2006, TU Dresden, IEEH



**Jan Meyer, Dr.-Ing.**

### **Analyse des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens induktiver Mittelspannungswandler**

In verschiedensten Situationen, u. a. beim Nachweis der Einhaltung der Norm DIN EN 50160, muss durch den Netzbetreiber die Spannungsqualität im öffentlichen Verteilungsnetz bestimmt werden. Während im Niederspannungsnetz die Spannung direkt gemessen wird, erfolgt in höheren Spannungsebenen der Anschluss des Messgerätes über die vorhandenen Spannungswandler. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um induktive Wandler, deren Genauigkeit nur bei Nennfrequenz festgelegt ist. Speziell für die Messung von Oberschwingungen ist jedoch die Kenntnis des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens wichtig, da die Genauigkeit des Ergebnisses davon entscheidend beeinflusst wird. Aktuelle Normen (z. B. DIN EN 61000-4-30) definieren ausschließlich die Genauigkeit des Messgerätes ohne Berücksichtigung der Messwandler.

Im Rahmen experimenteller Untersuchungen wurde der Einfluss verschiedener Umgebungsbedingungen auf das frequenzabhängige Übertragungsverhalten von Mittelspannungs-Spannungswandlern untersucht (Bild 1).



*Bild 1: Überblick der untersuchten Einflussfaktoren*



Zur Gewährleistung einer hohen Genauigkeit erfolgte die Messung mittels einfrequenter Anregung bei verschiedenen Frequenzen („Frequenzsweep“). Um realitätsnahe Aussteuerungsverhältnisse zu untersuchen, wurde ferner ein zweifrequentes Signal bestehend aus Grundschwingung bei Nennspannung und einzelner Oberschwingungen verschiedener Frequenz benutzt. Den entsprechenden Versuchsaufbau zeigt Bild 2.

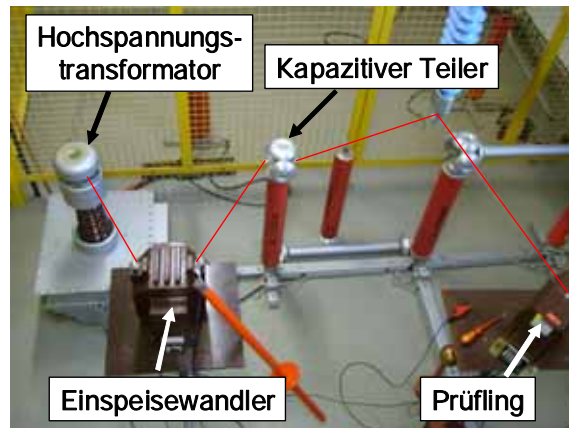


Bild 2: Versuchsaufbau im Hochspannungslabor

Mit zunehmender Bemessungsspannung der Primärseite nimmt die Frequenz der ersten Resonanzstelle ab (Bild 3). Neben der detaillierten Analyse aller Einflussfaktoren an wenigen, ausgewählten Wandlern, wurde die Streuung innerhalb einer Serie und zwischen Serien verschiedener Bauform anhand von mehr als 80 Spannungswandlern für das 20-kV-Netz untersucht (Bild 4). Neben den deutlichen Abweichungen innerhalb einer Serie fällt die deutlich geringere erste Resonanzfrequenz zweipoliger gegenüber einpoligen Ausführungen auf.

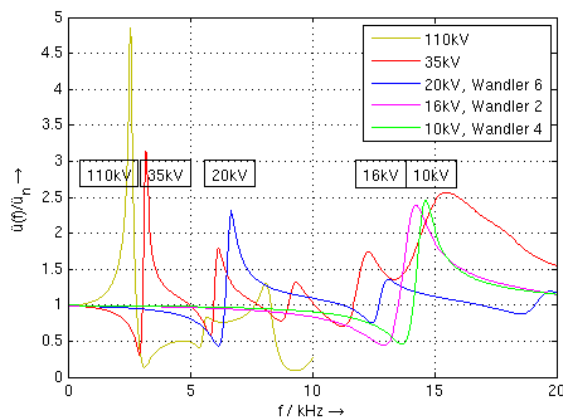


Bild 3: Einfluss der Nennspannungen

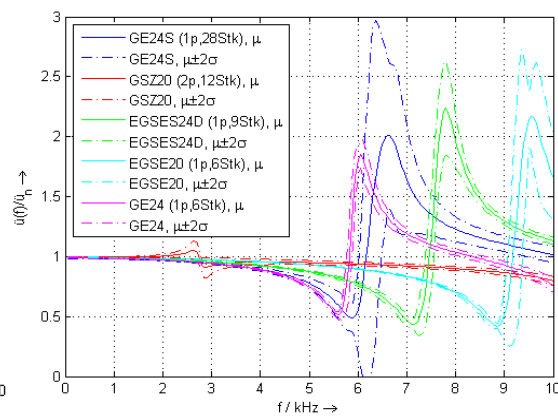


Bild 4: Einfluss der Serienstreuung

Im Frequenzbereich kleiner 2 kHz haben hauptsächlich Bauform und hohe Bebürdung Einfluss auf das Übertragungsverhalten. Im Bereich größer 2 kHz hat praktisch jede der Kenngrößen nach Bild 1 signifikanten Einfluss. Allgemeine Aussagen zur Genauigkeit sind deshalb unter bestimmten Bedingungen nur im Bereich bis 2 kHz möglich.

Die Überprüfung der prinzipiellen Anwendbarkeit des entwickelten Verfahrens auf die Untersuchung des Übertragungsverhaltens von 110-kV-Wandlern war erfolgreich.



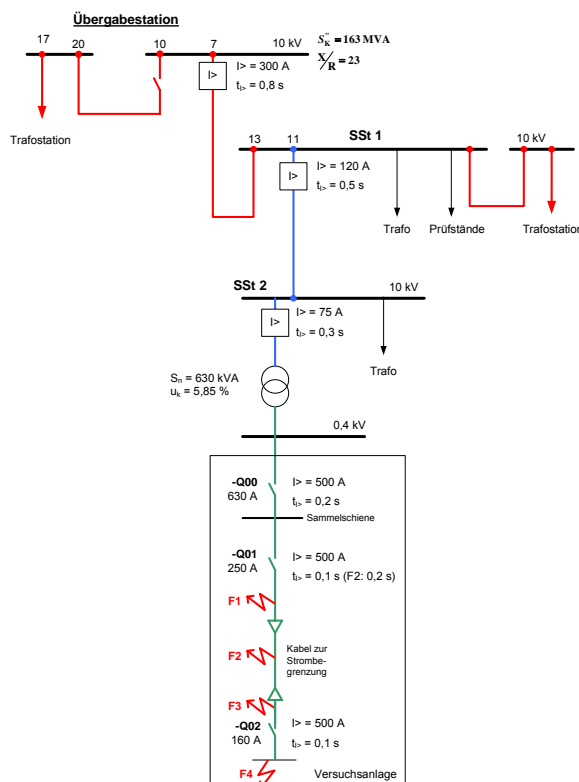
**Jörg Meyer, Dipl.-Ing.**

## Kurzschlussmessungen zur praktischen Erprobung komplexer Distanzschutzalgorithmen

### 1. Motivation

Die Verifikation von komplexen Distanzschutzalgorithmen für den Einsatz im Niederspannungsnetz soll mit Messwerten realer Störfälle erfolgen. Zum Aufbau einer Datenbank mit Zeitverläufen von derartigen Netzstörungen wurden Kurzschlussmessungen durchgeführt. Mit den aufgezeichneten Strom- und Spannungsverläufen können die Distanzschutzalgorithmen getestet werden.

### 2. Netzeinbindung



Die Kurzschlussmessungen wurden im Elektroenergieversorgungsnetz der TU Dresden durchgeführt. Ausgehend vom Mittelspannungsversorgungsring des östlichen Campus (Ausschnitt rot dargestellt in Bild 1) wird zunächst Schaltstation 2 (SSt 2) durch einen Stichabgang von SSt 1 versorgt. (blau dargestellt in Bild 1). Die Einspeisung auf den Messstand erfolgte über einen typischen Niederspannungstransformator mit der Schaltgruppe Dyn5 und einer Nennleistung von  $S_n = 630$  kVA. Mit dem eingesetzten Transformator konnte ein maximaler prospektiver Kurzschlussstrom an der Sammelschiene der Versuchsanlage von ca. 14 kA erreicht werden.

**Bild 1:** Netzeinbindung des Versuchsstandes

### 3. Aufbau des Versuchsstandes und Durchführung

Der schematische Aufbau des Messstandes ist in Bild 2 dargestellt. Es wurden zwei verschiedene Versuchsreihe durchgeführt. Bei *Messreihe 1* erfolgte die Abschaltung des Fehlers in der Nähe der Messstelle durch Schalter –Q01. Bei *Messreihe 2* erfolgte die Abschaltung des Kurzschlusses durch Schalter –Q02 als entfernt von der Messstelle. Der Fehler wurde dabei unmittelbar hinter dem Schalter –Q02 eingelegt. Der Kurzschluss wurde durch einen fernsteuerbaren Leistungsschalter eingeschaltet. Die abgangsseitigen Klemmen dieses Leistungsschalters wurden entsprechend der Fehlerart durch starre Kupferschienen bzw. kurze Kabelbrücken verbunden.

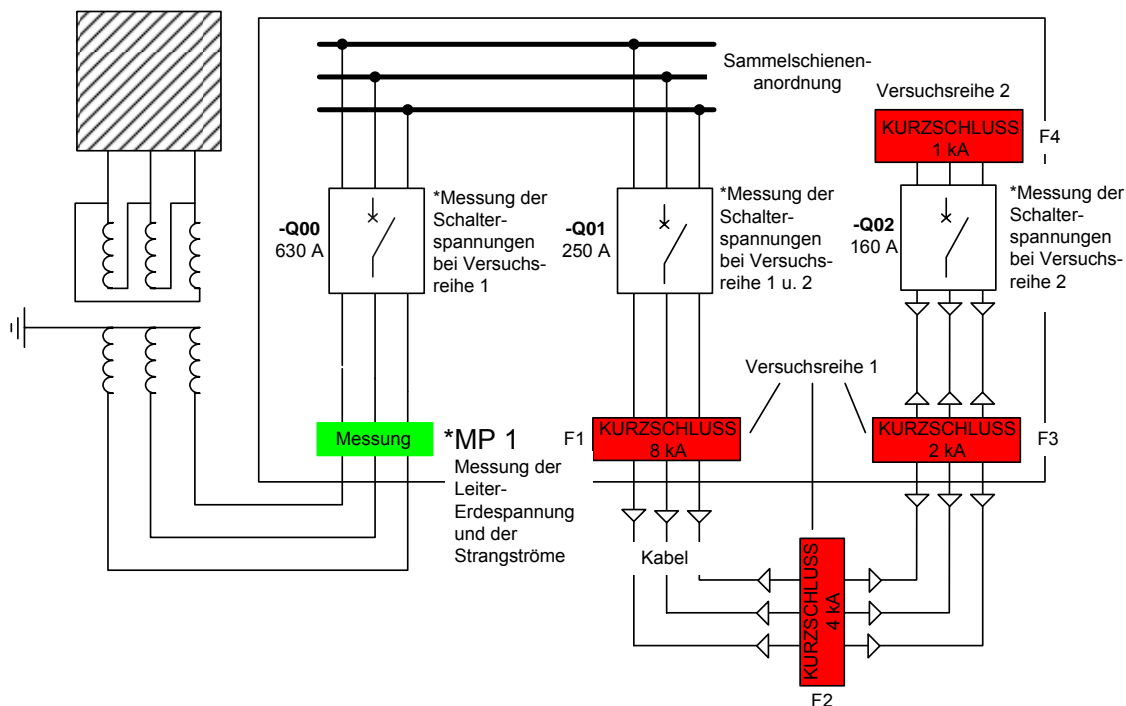


Bild 2: Schematischer Aufbau des Versuchsstandes

### 4. Messreihen

Durch den gewählten Versuchsaufbau konnten Kurzschlüsse mit den Stromhöhen 1 kA, 2 kA, 4 kA und 8 kA durchgeführt werden. Die Abschaltzeiten der entsprechenden Leistungsschalter wurden zwischen 0 – 200 ms variiert. Die Versuche wurden mit den folgenden Fehlerarten durchgeführt:

- 1-polig alle Phasen
- 2-polig alle Phasen mit und ohne Erdberührung
- 3-polig mit und ohne Erdberührung

Damit stehen nun ca. 450 Messreihen von Kurzschlüssen zur Verfügung, womit verschiedenen Schutzalgorithmen getestet und verifiziert werden.



**Roberto Schulze, Dipl.-Ing.**

### **Anwendung signaltheoretischer Methoden zur Analyse von Stördatenaufzeichnungen**

Stördatenaufzeichnungen von Fehlerereignissen in elektrischen Netzen enthalten Informationen über Betriebsmittelparameter und den Zustand des Netzes. Sie bleiben diesbezüglich in Deutschland/Europa oft ungenutzt, da eine Auswertung sehr aufwändig oder unmöglich ist. Wesentliche Gründe dafür sind die unzureichende Synchronisierung von Schutzgeräten/Störschreibern sowie deren vergleichsweise niedrige Abtastfrequenz. Neue Technologien (GPS-Zeitserver, schnellere A/D-Wandlung) ermöglichen zukünftig eine Analyse der Stördatenaufzeichnungen im Hinblick auf eine Identifikation von Betriebsmittelparametern, eine exaktere Fehlerortbestimmung. Daraus ergeben sich drei Forschungsschwerpunkte die bearbeitet wurden:

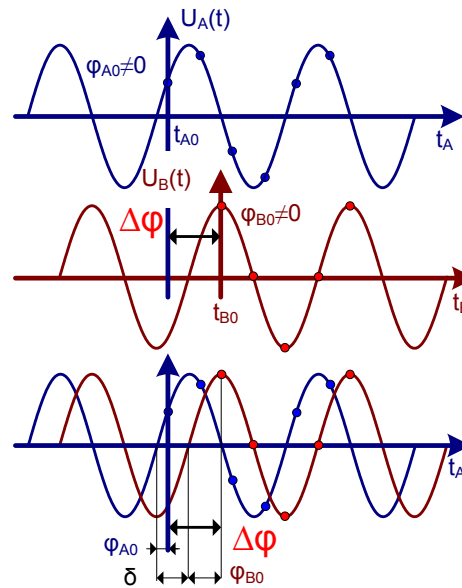
#### *Identifikation von Leitungsparametern mittels Signalmodellierung*

Unter der Annahme synchron aufgezeichneter Stördaten lassen sich die Parameter von unsymmetrischen Übertragungsleitungen identifizieren. Bisher wurden sog. zeitveränderliche Zeiger zur Modellierung von Fehlerzuständen und damit zur Identifikation angewendet. Diese Methode ist aufgrund einer notwendigen Tiefpassfilterung robust; nachteilig ist die in-exakte Abbildung des Fehlers in den Frequenzbereich. Um diesen Nachteil zu überwinden bietet sich die Modellierung des Fehlersegments der Stördatenaufzeichnungen mittels der Prony-Methode an. Das Fehlersegment kann somit exakt symbolisch beschrieben werden; eine Ermittlung der Zeitableitungen ist somit vorteilhaft möglich. Somit lässt sich eine Schätzgleichung zur Ermittlung der unbekannt Parameter aufstellen.

#### *Resynchronisierung von Stördatenaufzeichnungen*

Die Identifikation von Betriebsmittelparametern sowie eine zweiseitige Fehlerortbestimmung setzen eine zeitsynchrone Aufzeichnung der Stördaten an den Stationen einer Freileitung voraus. Für diese Zwecke sind derzeit eingesetzte Störschreiber bzw. Schutzgeräte mit Störschreiberfunktion nicht mit ausreichender Qualität zeitsynchronisiert. Daraus ergibt sich die Aufgabe, Stördatenaufzeichnungen nachträglich zu synchronisieren (Resynchronisierung). Unter der vereinfachenden Annahme einer symmetrischen Leitung lassen sich die Aufzeichnungen resynchronisieren. Modelliert man die Leitung mit einem  $\pi$ -Modell kann man den lastabhängigen Leitungswinkel  $\delta$  (vgl. Abb.) zwischen den Stationen der Leitung bestimmen. Dieses ist nur

möglich, wenn die Stördatenaufzeichnungen beider Orte am Fehlerintrittszeitpunkt ausgerichtet wurden (Vorsynchronisierung) und danach noch einen Versatz von maximal  $\Delta\varphi = \pm 180^\circ$  (bezogen auf die Grundschwingung) besitzen. Es lassen sich mit dieser Methode Aufzeichnungen mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5$  ms nachträglich synchronisieren [1]. In folgenden Arbeiten ist die Resynchronisierung unter der Annahme verkoppelter  $\pi$ -Modelle zu untersuchen.



### Fehlerortbestimmung mittels Signalmodellierung

Die Bestimmung des Fehlerortes erfolgt häufig nur durch eine einseitige Fehlerortung. Wird eine zweiseitige Fehlerortung durchgeführt, basiert diese auf einem symmetrischen Leitungsmodell. Die gewünschte Genauigkeit wird mit diesen Verfahren noch nicht erreicht. Aufgrund der mangelhaften Synchronisierung der Störschreiber bzw. der Schutzgeräte können derzeit nicht alle Messdaten in Kombination mit einem komplexen Leitungsmodell genutzt werden. Bei Kenntnis der Parameter eines komplexen unsymmetrischen Leitungsmodells (verkoppelte  $\pi$ -Modelle) lässt der Fehlerort mit hoher Genauigkeit bestimmen.

Simulationen haben ergeben, dass die Anwendung der Signalmodellierung mittels Prony-Methode u. a. wegen der nahezu exakten Ermittlung von Zeitableitungen der günstigste Ansatz ist. Der bestimmte Fehlerort ist nur schwach von der Position des Auswertefensters innerhalb des Fehlersegmentes abhängig. Eine zweiseitige Fehlerortung ist unabhängig vom Fehlerwiderstand. Dieses lässt sich mathematisch nachweisen und mittels Simulationen betätigen; auch eine Abhängigkeit der Genauigkeit vom Fehlerort konnte nicht festgestellt werden. Bei der Anwendung der Prony-Methode (zeitsynchron aufgezeichnete Testdaten) liegt der relative Fehler des Fehlerortes bei unverdrillten Leitungen unter 1%. In zukünftigen Arbeiten ist zu untersuchen, wie bekannte Verdrillungsorte in den Fehlerortungsalgorithmus eingearbeitet werden können.

- [1] Schulze, R.; Schegner, P.; Stachel, P.: Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines Using Accurately Resynchronised Fault Records. In: IEEE PES. Calgary/Canada, 26.-30.07.2009



Philipp Stachel, Dipl.-Ing.

**Abschätzung der Netzzeitkonstante aus Kurzschlussstromverläufen in Stördatenaufzeichnungen**

Die Netzzeitkonstante  $T_N$  gibt das Verhältnis von Resistanz und Reaktanz eines vorgelagerten Netzes N an einem Netzknoten an.

$$T_N = \frac{L_N}{R_N} = \frac{X_N}{2\pi f R_N}$$

Sie hat einen großen Einfluss auf das Abklingverhalten des Gleichanteils eines Kurzschlussstromverlaufes. Der Gleichanteil wiederum ist eine wichtige Kenngröße bei der Auslegung von Schutz-Stromwandlern und Leistungsschaltern und deren Mindestschaltverzögerung. Für die Dimensionierung des Stromwandlers ist daher die Größe der Netzzeitkonstante am Relais-einbauort von Interesse.

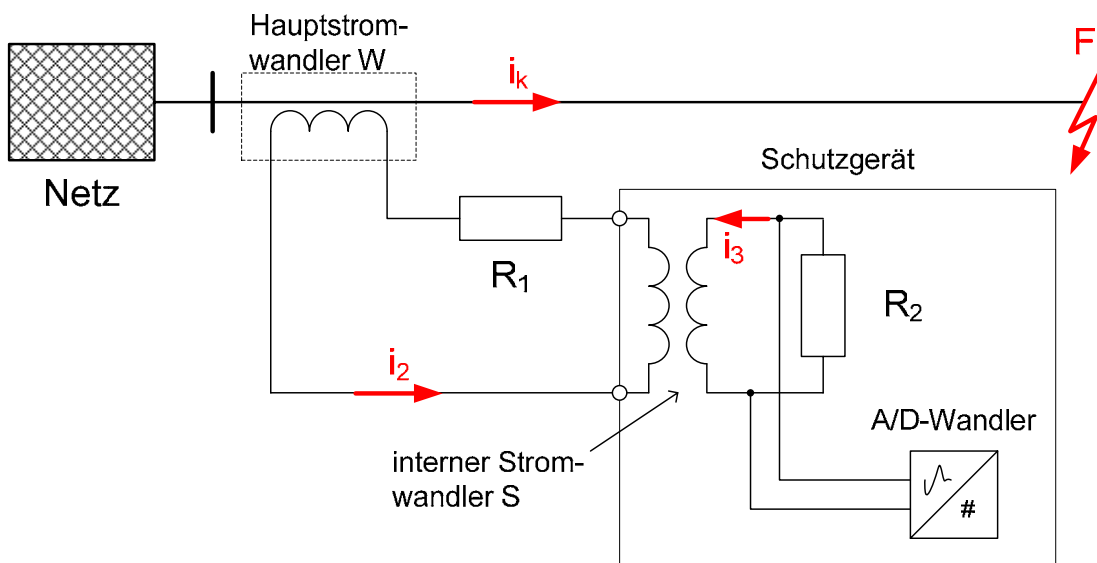


Bild 1: Reihenschaltung mehrerer Stromwandler

Im allgemeinen Fall der Auswertung von abgetasteten Stromsignalen in Stördatenaufzeichnungen liegt die in Bild 1 dargestellte Messschaltung vor. Ein Hauptstromwandler W misst den Primärstrom  $i_k$ . An dessen Sekundärspule ist ein Schutzgerät angeschlossen, welches wiederum einen internen Stromwandler S besitzt.

Ziel ist es, aus den aufgezeichneten Signalen des A/D-Wandlers, die Zeitkonstante  $T = L/R$  der Kurzschlusschleife zu bestimmen, welche eine Näherung für die gesuchte Netzzeitkonstante darstellt.

Je nach Bauart der Wandler (geschlossener Eisenkern bzw. linearisierte Stromwandler mit geschlitztem Eisenkern) werden Gleichglieder unterschiedlich gut übertragen. Im aufgezeichneten Stromsignal überlagern sich daher bis zu drei Zeitkonstanten.

Für den abklingenden Gleichanteil des Kurzschlussstroms gilt:

$$i_k'(t) = C_1 \cdot e^{-\frac{t}{T_N}}$$

Der Gleichanteil des Sekundärstroms des Wandlers W hat dann die Form:

$$i_2'(t) = C_2 \cdot \frac{T_N}{T_W - T_N} \cdot e^{-\frac{t}{T_W}} - C_2 \cdot \frac{T_W}{T_W - T_N} \cdot e^{-\frac{t}{T_N}}$$

mit der Zeitkonstante der sekundären Stromschleife  $T_W$  (auch als Wandlerzeitkonstante bezeichnet).

Während bei Stromwandlern der Klasse P und TPX  $T_W$  meist nicht berücksichtigt werden muss, ist die Zeitkonstante des Stromwandlers im Schutzgerät  $T_s$  nicht zu vernachlässigen. Der Gleichanteil im aufgezeichneten Stromverlauf hat dann die Form:

$$i_3'(t) = C_3 \left\{ \frac{T_s}{T_s - T_W} e^{-\frac{t}{T_W}} - \frac{T_W}{T_s - T_W} e^{-\frac{t}{T_s}} + \dots \right. \\ \left. + \frac{1}{T_s - T_W} \left[ \frac{T_s T_W}{T_N - T_s} \left( e^{-\frac{t}{T_N}} - e^{-\frac{t}{T_s}} \right) - \frac{T_s T_W}{T_N - T_W} \left( e^{-\frac{t}{T_N}} - e^{-\frac{t}{T_W}} \right) \right] \right\}$$

Im Rahmen einer Forschungszusammenarbeit wurden Stromsignale mit einer und zwei Zeitkonstanten ( $T_N$  und  $T_W$ ) simuliert. Mit diesen Stromsignalen wurden Schutzgeräte am Institut getestet und deren Stördatenaufzeichnungen (zusätzlich  $T_s$ ) anschließend analysiert.

Mit Hilfe der Ausgleichsrechnung und den drei Signalmodellen oben, ist es meist möglich bis drei Zeitkonstanten zu extrahieren (abhängig von den Startwerten und dem Unterschied der Zeitkonstanten). Da alle drei Zeitkonstanten den gleichen Wertebereich aufweisen können, ist eine nachträgliche Zuordnung zu den physikalischen Zeitkonstanten nur mit Zusatzinformationen zweckmäßig.

Durch Messungen konnten die Zeitkonstanten  $T_s$  der untersuchten Schutzgeräte ermittelt werden. Eine eindeutige Zuordnung ist dann im Falle von Stromwandlern der Klasse P und TPX möglich.

### **Diplomarbeiten**

Klatt, Matthias

Systematisierte Untersuchung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Spannungswandlern

DA 07/2008 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Cialla, Björn

Implementierung und Vergleich von Lastflussalgorithmen für die Netzplanung

DA 09/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Dickert)

Mews, Oliver

Vergleich der Einbindungen von Offshore-Windparks in das UCTE-Netz

DA 11/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. Ph. Stachel)

Krüger, Tobias

Untersuchung der Möglichkeiten zur Erhöhung der Einspeiseleistung dezentraler Erzeuger durch Blindleistungsregelung

DA 03/2009 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Dr.-Ing. M. Hable)

Jorks, Hai Van

Identifikation von Parametern unsymmetrischer Einfachleitungen

DA 05/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schulze)

Domagk, Max

Untersuchungen zur Resynchronisierung von Stördatenaufzeichnungen und zur Identifikation von Parametern unsymmetrischer Freileitungen am Dynamischen Netzmodell

DA 07/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schulze)

### **Studienarbeiten**

Stiegler, Robert

Aufbau einer Anordnung zur normgerechten Prüfung der Störaussendung von elektrischen Geräten mit Bemessungsströmen kleiner 16 A (Spannungseinbrüche, Flicker und Harmonische)

SA 02/2008 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Krumme, Olaf

Untersuchung zur Genauigkeit von Scenvorgängen der elektrischen Feldstärke im Nahbereich von Bahnleitungen

SA 03/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. Chr. Henze)



Köhler, Lothar

Untersuchungen zum Einfluss von Harmonischen auf die Lebensdauer elektronischer Consumer-Geräte

SA 05/2008 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Hüneburg, Lars

Automatisierte Auswertung der Wechselrichter- und Wetterdaten der Photovoltaikanlage des IEEH

SA 10/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. Chr. Henze)

Helfricht, Michael

Klassifikation von Systemzuständen anhand der Analogsignale in Störendatenaufzeichnungen

SA 07/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. Ph. Stachel)

Heß, Tobias

Statistische Untersuchungen einpoliger Erdfehlerströme unter besonderer Beachtung der Löschgrenzen an zwei Mittelspannungsnetzen in Zentralfinland

SA 08/2009 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Prof. Lehtonen)

### Vorträge

Schegner, Peter

Entwicklung und Erfahrungen zur Sternpunktbehandlung in Deutschland  
ETG-Fachtagung „Sternpunktbehandlung“, Bern/Schweiz, 22.01.2009

Bauer, Hartmut

Einfluss der Sternpunkterdung auf die Isolationskoordination  
ETG-Fachtagung „Sternpunktbehandlung in Verteilnetzen“, Dresden,  
27./28.01.2009

Schulze, Roberto

Grundlagen der Identifikation von Parametern unsymmetrischer Leitungen  
„10. Dresdner Kreis 2009“, Duisburg, 02./03.04.2009

Gasch, Etienne

Eine einheitliche Datenbankschnittstelle zur Speicherung von Spannungsqualitätsmessdaten verschiedener Messgeräte  
„10. Dresdner Kreis 2009“, Duisburg, 02./03.04.2009

## Forschung

---

Dickert, Jörg

Energy loss estimation in distribution networks for planning purposes

PowerTech 2009, Bukarest/Rumänien, 28.06.-02.07.2009

Vogt, Steffen; Stachel, Philipp; Schegner, Peter

Enhanced stability of EHV power networks with HVDC connections

PowerTech 2009. Bukarest/Rumänien, 28.06.-02.07.2009

Schulze, Roberto; Schegner, Peter

Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines

PowerTech 2009. Bukarest/Rumänien, 28.06.-02.07.2009

Schulze, Roberto; Schegner, Peter; Stachel, Philipp

Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines Using Accurately Re-Synchronised Fault Records

IEEE PES General Meeting 2009, Calgary/Canada, 26.-30.07.2009

Meyer, Jan

- Normen und Richtlinien

- Aktivitäten der europäischen Regulierungsbehörden

- Netzimpedanz und Kurzschlussleistung

- Oberschwingungen

- Kommutierungseinbrüche, Zwischenharmonische und Unsymmetrien

VDE-Seminar „Netzurückwirkungen in Theorie und Praxis“, Dresden,

28.09.-02.10.2009

Winkler, Gert

- Grundlagen der Netzurückwirkungen

- Mathematische Grundlagen

- Spannungsschwankungen und Flicker

VDE-Seminar „Netzurückwirkungen in Theorie und Praxis“, Dresden,

28.09.-02.10.2009

Dickert, Jörg

Sternpunktbehandlung und Erdung in Kabelnetzen

74. Kabelseminar, Hannover, 13.10.2009

Bauer, H.:

Isolationskoordination und Überspannungsschutz

Seminar Hochspannungs-Schaltanlagen, München, 03./04.11.2009

## Veröffentlichungen

Henze, C.; Bauer, H.:  
Identification of Overhead Lines Using Measurements of the Electric Field Strength  
20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compability EMC,  
Zürich/Schweiz, 12.-16.01.2009

Rückerl, Ch.; Eichhorn, K. Fr.; Bauer, H.:  
On the Evaluation of Superimposed Magnetic Fields  
20th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compability EMC,  
Zürich/Schweiz, 12.-16.01.2009

Bauer, H.:  
Einfluss der Sternpunktterdung auf die Isolationskoordination  
ETG-Fachtagung „Sternpunktbehandlung in Verteilnetzen“, Dresden,  
27./28.01.2009

Dickert, J.; Hable, M.; Schegner, P.:  
Energy loss estimation in distribution networks for planning purposes  
PowerTech 2009, Bukarest/Rumänien, 28.06.-02.07.2009

Vogt, S.; Stachel, P.; Schegner, P.:  
Enhanced stability of EHV power networks with HVDC connections  
PowerTech 2009. Bukarest/Rumänien, 28.06.-02.07.2009

Schulze, R.; Schegner, P.:  
Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines  
PowerTech 2009. Bukarest/Rumänien, 28.06.-02.07.2009

Stachel, P.; Schegner, P.:  
Detection and correction of current transformer saturation effects in secondary current signals  
IEEE PES General Meeting 2009, Calgary/Canada, 26.-30.07.2009

Schulze, R.; Schegner, P.; Stachel, P.:  
Parameter Identification of Unsymmetrical Transmission Lines Using Accurately Re-Synchronised Fault Records  
IEEE PES General Meeting 2009. Calgary/Canada, 26.-30.07.2009



### Hochspannungstechnik

Im Bereich der Hochspannungstechnik sind es derzeit drei Schwerpunkte, die die Arbeiten am Institut bestimmen:

- Belastung von Isolierungen mit impulsförmigen und mit Gleichspannungen

Auf diesem Gebiet sind eine Vielzahl von Untersuchungen an Isolierungen elektrischer Maschinen ebenso zu nennen, wie Untersuchungen an Öl-Lack-Isolierungen.

- Arbeiten unter Spannung

Die Arbeit mit Grundlagenuntersuchungen für das AuS in Mittelspannungsanlagen knüpft an traditionell am Institut angesiedelte Forschung zum Arbeiten unter Spannung an und soll Erkenntnisse bringen, die im Bereich der Elektroenergieversorgung neue Technologien bei der Wartung und Instandhaltung ermöglichen, bei gleichzeitiger Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit.

- Elektrodenanordnungen für hohe Gleichspannungen

Hochspannungs-Gleichstromübertragungen (HGÜ) nehmen international immer mehr an Bedeutung zu. Für die Hersteller der Betriebsmittel sind experimentelle Grundlagenuntersuchungen und Tests an gefertigten Geräten und Komponenten ebenso wichtig wie Berechnungen für entsprechende Elektrodenanordnungen.



**Irina Ovsyanko, Dipl.-Ing.**

### **Untersuchungen zum Entladungsverhalten an Kugelelektroden bei Abständen im Meterbereich mit DC- und AC-Beanspruchung**

Für die Dimensionierung von HGÜ-Anlagen ist die Kenntnis des Entladungsverhaltens der Abschirmelektroden bei großen Abständen ( $> 2$  m) erforderlich. Dabei interessieren vor allem großflächige Elektroden. Diese können mit der zur Verfügung stehenden Gleichspannungsanlage (maximal 900 kV) nur begrenzt untersucht werden. Deshalb wurden zur Verifizierung der Berechnungsmethode nach dem Streamerkriterium bei Gleichspannungsbeanspruchung für größere Abstände Untersuchungen an Kugel-Platte-Anordnungen bis zu Abständen von  $d = 6$  m durchgeführt. Die Radien der Kugeln betragen zwischen 10 mm und 250 mm. Die Untersuchungen erfolgten im Spannungssteigerungsversuch, um die Verteilungsfunktionen der TE-Einsetzspannungen zu ermitteln. Zum Vergleich wurden auch Wechselspannungsbeanspruchungen durchgeführt. Die gemessenen Spannungen wurden direkt mit den berechneten Streamereinsatzspannungen verglichen.

Bei Wechselspannung stimmen die gemessenen TE-Einsetzspannungen für die Kugel-Platte-Anordnung (K-P-A) mit Kugelradien  $r_k \leq 50$  mm mit den berechneten gut überein (Bild 1). Für größere Kugelradien  $r_k > 50$  mm wurden bei Abständen von  $d \geq 1$  m etwas größere Streamereinsatzspannungen gemessen als die berechneten, z. B. beträgt bei einer Kugel mit einem Radius von 125 mm die Abweichung bei einem Abstand von 6 m ca. 21 %. Mit der Berechnung liegt man bei diesen Kugelradien für die optimale Dimensionierung der Elektroden auf der sicheren Seite.

Bei positiver und negativer Polarität der Gleichspannung stimmen Rechnung und Messung, abhängig vom Krümmungsradius der Elektrode, nur bis zu einem Abstand von 0,5...1 m gut überein (Bild 1). Nach diesem Abstand sind die gemessenen Streamereinsatzspannungen deutlich größer als die berechneten Streamereinsatzspannungen. Bei sehr großen Krümmungsradien der Elektroden sind die Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Streamereinsatzspannungen für beide Polaritäten der Gleichspannung besonders groß.

Diese hohen gemessenen Einsatzspannungen bei Gleichspannungsbeanspruchung können nur durch den Einfluss von Raumladungen erklärt werden. Von Drahtelektroden ist aus der Dissertation von Mauksch<sup>1)</sup> bekannt, dass beachtlich hohe Durchschlagsspannungen erreicht werden können. Bei

diesen dünnen Drähten entsteht eine Glimmentladung, die in jeder Halbwelle eine stabilisierende Raumladung aus ionisierten Teilchen erzeugt. Raumladungen, die durch Glimmentladung erzeugt werden, können aber an der K-P-A nicht auftreten, da die Krümmung der Elektrode zu groß ist. Die Raumladungen, die bei Gleichspannungsbeanspruchung an „großflächigen“ Elektroden zur Änderung der Feldverteilungen und damit der Einsatzspannung führen, müssen durch andere Mechanismen erzeugt werden.

Von J.J. Thomson wurde nachgewiesen, dass in Gasen stets frei bewegliche positive und negative Teilchen vorhanden sind, die als Gasionen bezeichnet werden. Die Wanderung der Gasionen unter Feldwirkung hat dabei zur Folge, dass die Feldverteilung maßgeblich verändert wird. Auf Grund der langen Beanspruchungsdauer können sich offensichtlich bei Gleichspannung Raumladungen unmittelbar in der Nähe der Elektroden bilden. Raumladungen entgegengesetzter Polarität senken die Feldstärke in einiger Entfernung von der Elektrode ab und verhindern Streamerzündungen. Unmittelbar vor der Elektrode wird die elektrische Feldstärke erhöht. Dadurch zünden unselbständige Entladungen, die die Raumladungen teilweise neutralisieren und die mittlere Feldstärke auf ca. 25 kV/cm stabilisieren.

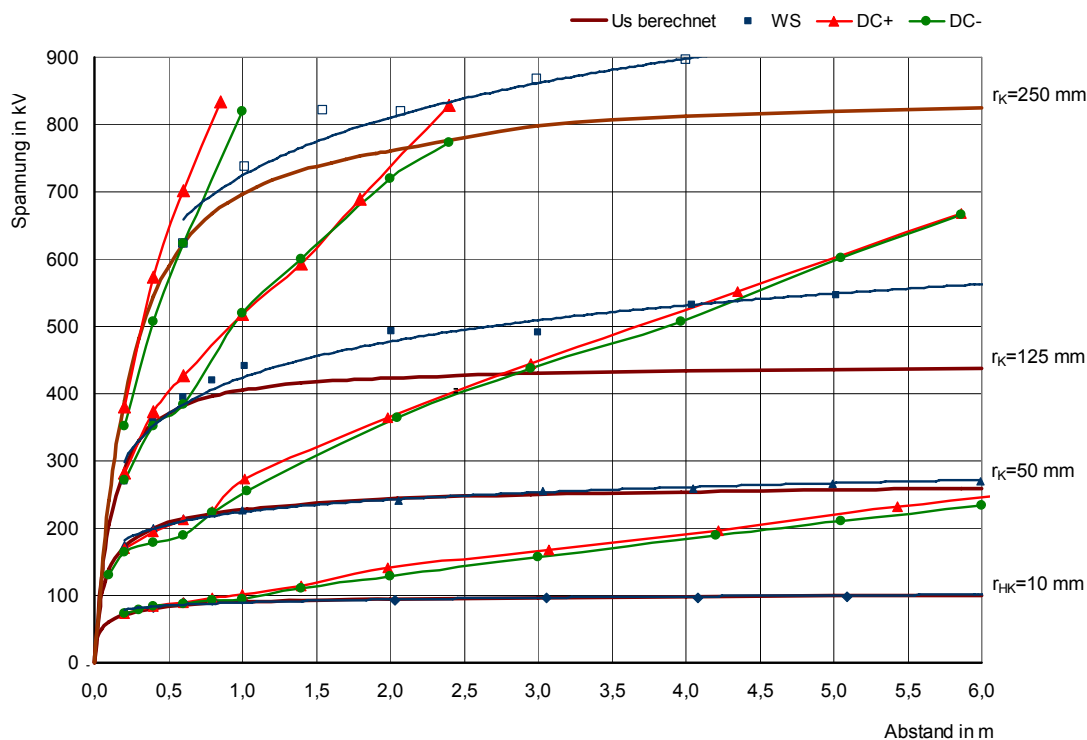


Bild 1: gemessene und berechnete Streamereinsatzspannung für Kugel-Platten-Anordnung bei WS, DC+ und DC-

<sup>1)</sup> Maucksch, S.; Beitrag zum Entladungsverhalten von segmentierten Elektroden und Drahtelektroden in Luft bei Beanspruchung mit 50-Hz-Wechsel- und positiver Schaltspannung. Diss. TU Dresden 1981

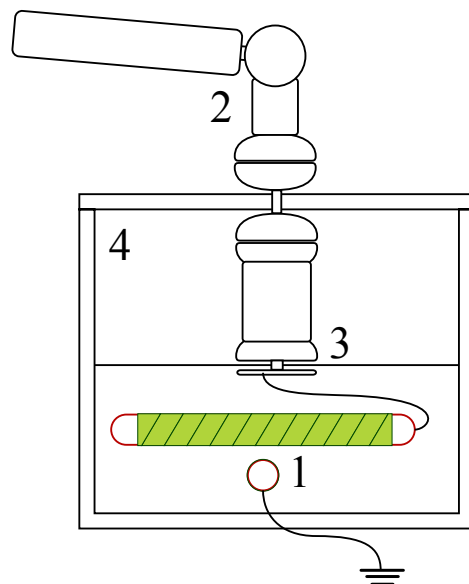


**Karsten Krätzschar, Dipl.-Ing.**

### **Elektrische Festigkeit von Öl- bzw. Öl/Papier-Isolierungen bei hoher Gleichspannung**

Für die elektrische Energieübertragung über große Entfernungen zeichnet sich die HGÜ-Technik aufgrund des Wegfalls der Blindleistungsverluste gegenüber den Drehstromsystemen aus. Ein großer Teil der sich in Planung befindenden Trassen, insb. in Asien und Südamerika, bedienen sich daher dieser Technologie.

Die elektrische Schaltung der HGÜ-Transformatoren mit den entsprechenden Gleichrichterbrücken verursacht dabei auf der Sekundärseite der Transformatoren eine Gleichspannungsbeanspruchung mit aufgeprägtem Wechselanteil. Da die Wirkungen dieser Beanspruchung auf die unter Wechselspannung bewehrte Öl-Papier-Isolierung noch nicht vollständig bekannt sind, wird zunächst mit Hilfe vereinfachter Prüfanordnungen das Verhalten des Isolierstoffsystems untersucht. Erste Untersuchungen mit blanken Elektrodenanordnungen (Spitze-Platte, Kugel-Platte) bestätigen und präzisieren Literaturwerte.



- 1 - Prüfobjekt unter Öl (gekreuzte Zylinder)
- 2 - TE-freie Abschirmelektroden am Gefäßdeckel
- 3 - TE-freier Elektrodenspalt am Übergang Luft-Öl
- 4 - Glasgefäß mit PMMA-Deckel

*Bild 1: Prüfgefäß mit Anordnung „gekreuzte Zylinder“*



chungen wurde ein Prüfaufbau mit einem teilentladungsfreien und temperierbaren Prüfgefäß konzipiert. Eine über ein Schlauchsystem verbundene Ölaufbereitungsanlage gewährleistet eine gleichbleibende Ölqualität für alle Versuche, da das Öl aufgrund der elektrischen Beanspruchung wie Durchschlägen und Teilentladungen altert.

Im Gegensatz zur Wechselspannung, bei der sich die Spannungsbelastung eines Isoliersystems anhand des Verhältnisses der Kapazitäten und damit den Dielektrizitätszahlen der Isolierstoffe ergibt, bestimmen bei der Gleichspannung die Leitwerte der Isolierstoffe die Verteilung des elektrischen Felds. Während die Permittivität der Isolierstoffe nur gering von der Temperatur, der Feldstärke und dem Wassergehalt abhängt, ändert sich die elektrische Leitfähigkeit abhängig von diesen Faktoren um mehrere Zehnerpotenzen. [1]

Um diese Einflüsse auf die elektrische Festigkeit des Isoliersystems Öl/Öl-Papier studieren zu können, wird der Fokus auf die Bestimmung von Teilentladungen gelegt, um mit deren Hilfe Aussagen zur Güte und zur Alterung des Isoliersystems treffen zu können.

Das von *Rasquin* [2] für Luft formulierte Streamerkriterium konnten *Knorr* und *Breitfelder* [3] erfolgreich für Wechsel- und Impulsspannung anwenden. Das von der *Townsend'schen* Ladungsträgervervielfältigung ausgehende Modell erfasst den einsetzenden Entladungsvorgang mittels einer Integralformulierung über den Weg bzw. der Feldlinie höchster Beanspruchung ( $x_k$ ).

$$U_k = E_0 s_0^{1/z} \left( \int_{x_k} e(x)^z dx \right)^{-1/z}$$

Die Verteilung der elektrischen Feldstärke für verschiedene Elektrodenanordnungen wird dabei sowohl mit Hilfe des Punktladungsverfahrens als auch mittels FEM bestimmt.

Ziel der Arbeit ist es zunächst, experimentell das in [2] und [3] formulierte Streamerkriterium für Gleichspannung zu adaptieren.

[1] Wahlström: Voltage Test on Transformers and Smoothing Reactors for HVDC Transmission, CIGRE-WG-Report 12.02, Elektra No. 46, 1976,

[2] Rasquin: Berechnung der Durchschlagspannungen von gasförmigen, flüssigen und festen Isolierstoffen, Köln, 1972

[3] Knorr, Breitfelder: Breakdown in Transformer Oil with AC and Impuls Voltage Stress, IEEE-Symposium, Nürnberg, 1984

### **Diplomarbeiten**

Freiherr von Freyberg, Stefan  
Untersuchung des Teilentladungsverhaltens von Isolierungen von Hochspannungsmaschinen  
DA 10/2008 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Speck)

Kunze, André  
Durchschlagverhalten von Isolieröl bei Gleichspannung  
DA 04/2009 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Speck)

### **Studienarbeiten**

Hildmann, Christian  
Experimentelle Arbeiten zum Entladungsverhalten von großflächigen Luftfunkenstrecken bei hohen Gleichspannungen  
SA 04/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. I. Ovsyanko)

### **Vorträge**

Ovsyanko, Irina  
Dimensioning of screening electrodes for extremely-high rated direct voltage  
16th International Symposium on High Voltage Engineering, Kapstadt/Südafrika, 24.-28.08.2009

Ovsyanko, Irina  
Abschirmelektroden für hohe Gleichspannungen  
10. Assistententreffen der Hochspannungs- und Hochstromtechnik, TU Dresden, 07.11.2009

Krätzschar, Karsten  
Ölisolierungen bei Gleichspannung  
10. Assistententreffen der Hochspannungs- und Hochstromtechnik, TU Dresden, 07.11.2009

### Hochstromtechnik

Die Forschung auf dem Gebiet der Hochstromtechnik nimmt seit vier Jahrzehnten am Institut einen hervorragenden Platz ein. Dieses Fachgebiet ist eine wesentliche Säule unserer Arbeit. Dabei ergänzen sich Forschung für unsere Industriepartner und Grundlagenforschung in hervorragender Weise.

Betriebsmittel der Elektroenergietechnik haben die Aufgabe, Strom zu leiten. Dabei sind die Strombahnen so zu gestalten und zu bemessen, dass zulässige Grenztemperaturen eingehalten und ein über Jahrzehnte zuverlässiger Betrieb gewährleistet ist. Eine immer höhere Auslastung der Betriebsmittel bei gleichzeitig höherem Kostendruck für die Hersteller erfordern neue kreative Lösungen. Die dafür erforderlichen Grundlagen zur Erwärmung sind Bestandteil unserer Forschung. Eine wesentliche Rolle spielen dabei auch die in den Elektroenergieanlagen notwendigen elektrischen Verbindungen und deren Langzeitverhalten abhängig von konstruktiven und betriebsbedingten Einflüssen sowie den Umgebungsbedingungen.

Die nachfolgenden Beiträge geben eine Übersicht über die wichtigsten derzeit laufenden Arbeiten.



**Robert Adam, Dipl.-Ing.**

### Untersuchungen zur Stromverdrängung in Sammelschienensystemen von Niederspannungs-Schaltanlagen

Zur rechnergestützten thermischen Dimensionierung von NS-Schaltanlagen müssen die in den Geräten und in den Betriebsmitteln erzeugten Verlustleistungen bekannt sein. Bei der Belastung eines massiven Leiters mit Gleichstrom ist die Verlustleistung das Produkt aus dem elektrischen Widerstand  $R_{\vartheta}$ , abhängig von der Temperatur des Leiters und dem Quadrat des Stromes.

$$P_{\sim} = R_{\vartheta} I^2 \quad (1)$$

Die Stromdichte ist dabei homogen über dem Querschnitt des Leiters verteilt. Wird der selbe Leiter mit Wechselstrom belastet, kommt es, bedingt durch das ihn durchsetzende magnetische Wechselfeld, zum Skineneffekt, d. h. zur „Verdrängung“ des fließenden Stromes in die Randbereiche des Leiters. Verwendet man anstatt eines Leiters mehrere parallele Leiter und belastet diese mit Strömen unterschiedlicher Phasenlagen, wie z. B. im Drehstromsystem, so überlagert sich das Eigenfeld jedes einzelnen Leiters mit den Magnetfeldern aller übrigen Leiter und es kommt zum Proximity-Effekt, der die Stromverdrängung je nach Phasenlage der Ströme vergrößert oder verkleinert. Die Stromdichte ist nicht mehr gleich über die einzelnen Leiterquerschnitte verteilt. Die Verlustleistungen sind durch den Skin- und den überlagerten Proximity-Effekt um den Stromverdrängungsfaktor  $k$  größer.

$$P_{\sim} = k R_{\vartheta} I^2 \quad (2)$$

Aus der Literatur kann der Stromverdrängungsfaktor  $k$  für Mehrfachschiene mit bis zu vier Teileitern bei einer Belastung mit 50 Hz Wechselstrom und für bestimmte Abstände entnommen werden [1]. Für Drehstromsammelschienensysteme mit mehreren Teileitern, wie sie in der Niederspannungstechnik häufig verwendet werden (Bild 1) existieren bisher nur sehr wenige Angaben zur Stromverdrängung durch den Skin- und den Proximity-Effekt.

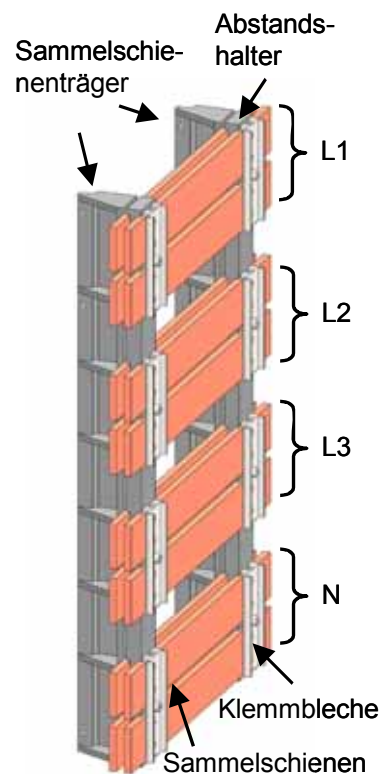


Bild 1: 4 x (60 mm x 10 mm) Sammelschienensystem

Deshalb wurden für typische Anordnungen die Stromverdrängungsfaktoren jedes Teilleiters mit Hilfe von FEM-Modellen berechnet. Bei den in der Niederspannungstechnik üblichen verwendeten Leiterquerschnitten kommt es bei einer Belastung mit Wechselstrom zu relativ geringen Stromverdrängungsfaktoren. Für die Kupferleiter einer 2 x (60 mm x 10 mm) Sammelschiene beträgt der Stromverdrängungsfaktor durch den Skineneffekt  $k = 1,18$ . Ähnliche Werte werden auch in [1] angegeben. Der Einfluss dieser Stromverdrängung auf die Erwärmung einer Schaltanlage wäre gering.

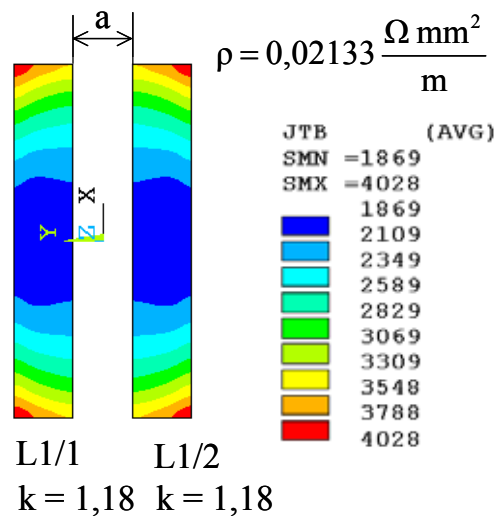


Bild 2: Stromdichteverteilung und Stromverdrängungsfaktoren  $k$ , berechnet an einer 2 x (60 mm x 10 mm) Sammelschiene mit  $a = 13$  mm bei 1 A 50 Hz Wechselstrom

Die in NS-Schaltanlagen verwendeten Sammelschienensysteme werden in der Regel mit Drehstrom belastet. Bedingt durch die kleinen Leiterabstände zwischen den Leitern L1, L2 und L3, sowie deren Teilleitern 1 bis 4 wirkt der Proximity-Effekt in den 12 Teilleitern so stark, dass sich die Stromverdrängungsfaktoren für die einzelnen Teilleiter von  $k = 1,18$  bis zu  $k = 2,04$  erhöhen. Damit hat die Stromverdrängung einen nicht mehr zu vernachlässigenden Einfluss auf die Erwärmung der gesamten Schaltanlage.

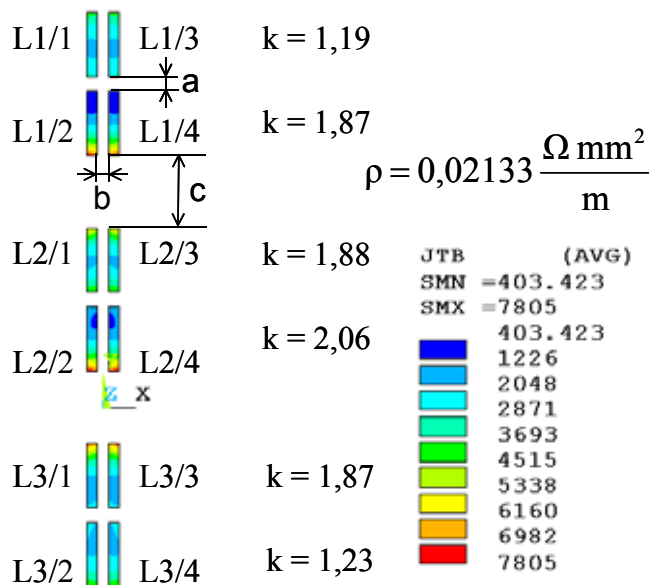


Bild 3: Stromdichteverteilung und Stromverdrängungsfaktoren  $k$ , berechnet für eine 4 x (60 mm x 10 mm) Sammelschiene mit  $a = 13$  mm,  $b = 10$  mm und  $c = 67$  mm bei 1 A 50 Hz Drehstrom (Darstellung ohne Neutralleiter)

[1] Schufft; Wolfgang: Taschenbuch der elektrischen Energietechnik. Carl Hanser Verlag, 2007



**Falk Blumenroth, Dipl.-Ing.**

### **Alterung durch Gleitverschleiß an Steckverbindungen mit Schraubenfedern durch thermische Lastwechsel**

Gleitverschleiß an Steckverbindungen mit versilberten Kontaktflächen führt zu höheren Verbindungswiderständen während der Lebensdauer der Verbindungen. Die Verbindungen, bestehend aus Kontakträger, Schraubenfedern und Leiterrohr werden in gasisolierten Hochspannungs-Schaltanlagen eingesetzt, um ruhende Leiter miteinander zu verbinden [1]. Gleitverschleiß entsteht dabei durch langsame Gleitbewegung im mm-Bereich, die durch die lastabhängige thermische Dehnung der Kontaktpartner entstehen.

In einem Lastwechselversuch mit zwölf Steckverbindungen, die in Reihe geschaltet waren, wurde das Verhalten der Verbindungswiderstände abhängig von der Zeit und der Anzahl der Lastwechsel im Grenzbereich von Strom und Temperatur untersucht (Bild 1). Um die Verbindungen auf eine Temperatur von  $\vartheta_v = 105 \text{ °C} \pm 5 \text{ K}$  zu erwärmen, wurde über einen Hochstromtransformator ein Strom von  $I = 2000 \text{ A}$  in den Versuch eingespeist (Bild 1a). Zusätzlich mussten die Leiterrohre mit Glaswolle thermisch isoliert werden. Durch das Zu- und Abschalten des Stromes mit Hilfe eines Temperaturreglers wurden Last- bzw. Temperaturwechsel im Bereich von  $65 \text{ °C}$  bis  $105 \text{ °C}$  realisiert. Damit eine Gleitbewegung realisiert werden konnte, wurden die Kontakträger mit dem Holzunterbau fixiert (Bild 1). Eine Temperaturänderung von  $\Delta\vartheta = 40 \text{ K}$  verursacht dabei eine Ausdehnung der Rohre um  $0,5 \text{ mm}$ . Damit entsteht eine Relativbewegung zwischen Feder und Rohr von  $\Delta l \leq (0 \dots 0,5) \text{ mm}$ . An welcher der zwei Steckverbindungen die Relativbewegung auftritt, hängt von den Verbindungskräften ab. Es wird an der Verbindung mit der geringeren Verbindungskraft zur Relativbewegung zwischen Feder und Rohr kommen.

Abhängig von der Zeit und damit von den Lastzyklen wurden die Widerstände an zwölf Steckverbindungen bei einer Temperatur von  $\vartheta_v = 105 \text{ °C} \pm 5 \text{ K}$  gemessen (Bild 2). Die Versuchszeit betrug  $18.540 \text{ h}$  (ca. 2,1 Jahre) mit 2.279 Lastzyklen. Trotz der hohen thermischen und mechanischen Beanspruchung der Verbindungen während der Lastzyklen bleiben die Widerstände der Steckverbindungen mit CuCo<sub>2</sub>Be- und CuCr<sub>1</sub>Zr-Schraubenfedern quasi konstant (Bild 2). Unter dem Lichtmikroskop wurden ausgeprägte Kontaktflächen an den Windungen der Schraubenfeder sichtbar. Es wurden aber keine Verschleißpartikel festgestellt. Das unedlere Grundmaterial wurde nicht freigelegt.

Die höhere elektrische Leitfähigkeit von CuCr1Zr mit  $\kappa_{\text{CuCr1Zr}} \leq 43 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  gegenüber CuCo2Be mit  $\kappa_{\text{CuCo2Be}} \leq 26 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  wirkt sich deutlich in einem kleineren Widerstand für Steckverbindungen mit CuCr1Zr-Schraubenfedern aus (Bild 2).

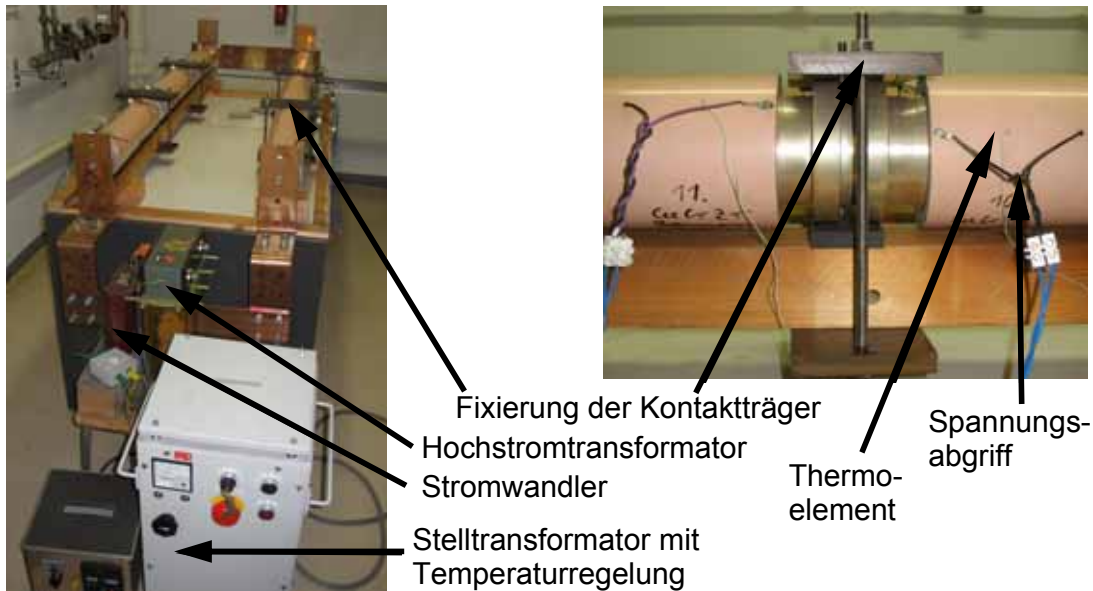


Bild 1: thermischer Lastwechselfersuch mit 12 Steckverbindungen [1]

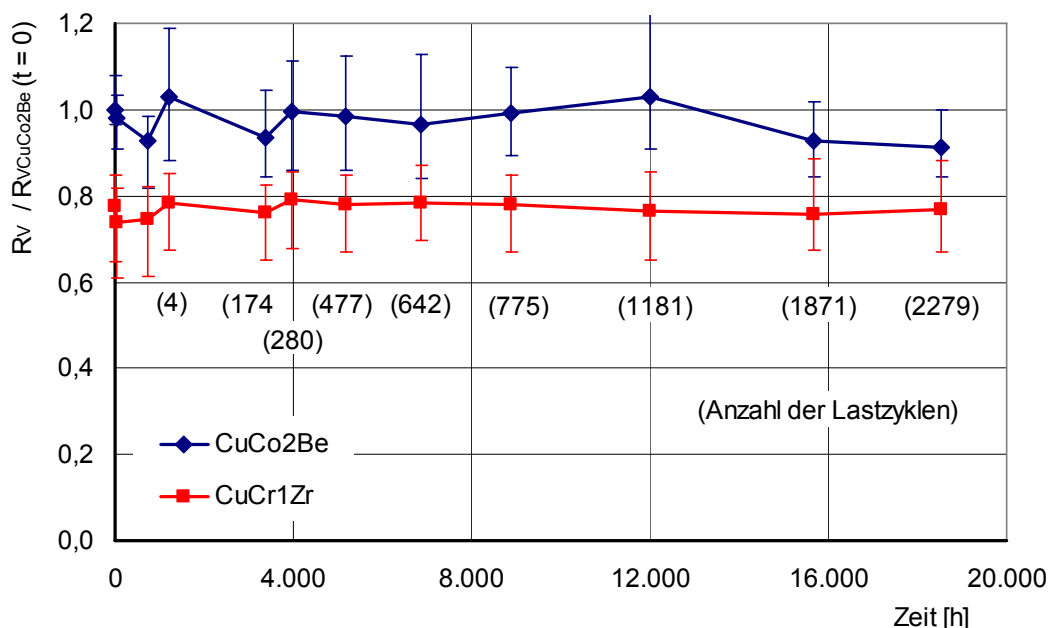


Bild 2: Lastwechselfersuch – Verbindungswiderstand  $R_V(t)$  bezogen auf den mittleren Anfangswiderstand  $R_{V\text{CuCo2Be}}(t=0)$  bei  $\vartheta_V = 105 \text{ }^\circ\text{C}$

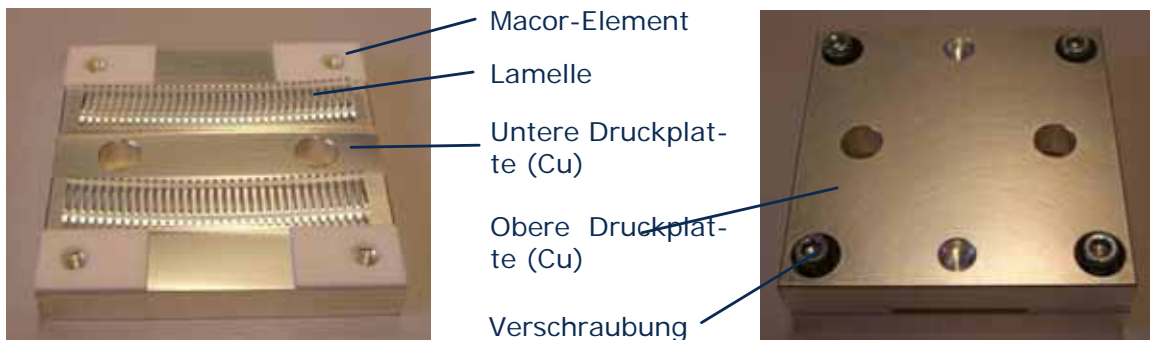
[1] Blumenroth, F.: Langzeitverhalten von Hochstrom-Steckverbindungen mit CuCo2Be Schraubenfedern, Jahresbericht IEEH 2005



**Nils Lücke, Dipl.-Ing.**

### **Untersuchungen zur Spannungsrelaxation an elektrischen Verbindungen mit Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen**

Das Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen mit Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen (CuBe2) des Typs LAIA abhängig von der Spannungsrelaxation wird anhand von Modellanordnungen untersucht (Bild 1), [1]. Diese bestehen aus einer oberen und einer unteren Druckplatte (versilbert), zwischen die zwei ebenfalls versilberte Lamellenbänder mit jeweils 35 Stegen eingelegt sind. Der Einfederweg der Lamellen wird durch den Spalt ( $h_{SN} = 0,82 \text{ mm}$ ) zwischen den beiden Druckplatten eingestellt. Dieser Spalt wird nach dem Verschrauben der Modellanordnungen durch Distanzelemente aus Macor<sup>1)</sup> konstant gehalten. Eine gleiche Anzahl dieser Prüflinge wird durch den elektrischen Strom oder im Wärmeschrank auf Temperaturen von 90 °C, 115 °C, 140 °C und 180 °C erwärmt [1].



*Bild 1: Modellanordnungen für die Langzeitversuche*

Bisher konnte im untersuchten Temperaturbereich noch kein Einfluss der Spannungsrelaxation auf den Verbindungswiderstand festgestellt werden. Die gemessenen Verbindungswiderstände nehmen nach der bei versilberten Verbindungsflächen typischen Formierungsphase einen stabilen Wert von 90 % des Anfangswiderstandes an. Allerdings muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass bei technischen Anwendungen in Steckverbindern durch Steckvorgänge mit relaxierten Lamellen durchaus abweichende Ergebnisse entstehen können. Dieser Sachverhalt muss noch untersucht werden.

Die bisherigen Messergebnisse im untersuchten Temperaturbereich zeigen eine temperaturproportionale Abnahme der Verbindungskraft mit der Zeit.

---

<sup>1)</sup> kriechfeste, spanend bearbeitbare Glaskeramik



Dies lässt den Schluss zu, dass sich zumindest bis zu einer Temperatur von 180 °C keine Veränderungen in der Mikrostruktur des Werkstoffs oder im Spannungsrelaxationsprozess ergeben. Durch vergleichende REM-Untersuchungen an Querschliffen von unbelasteten und belasteten Lamellenproben (Versuchstemperatur 180 °C) konnte dieses Verhalten bestätigt werden.

Mit einem FE-Modell [1] und Materialparametern für die ebenfalls ausscheidungsgehärtete Legierung CuCo2Be konnte die Abnahme der Verbindungskraft abhängig von der Zeit bei 90 °C und 115 °C berechnet werden. Dabei ergeben sich im bisher untersuchten Zeitbereich gute bis sehr gute Übereinstimmungen mit den gemessenen Werten (Bild 2). Um im gesamten Temperaturbereich bis zu 180 °C den Abbau der Verbindungskraft für Cu-Be2-Lamellen genauer berechnen zu können, werden die Kriechparameter für dieses Material noch bestimmt.

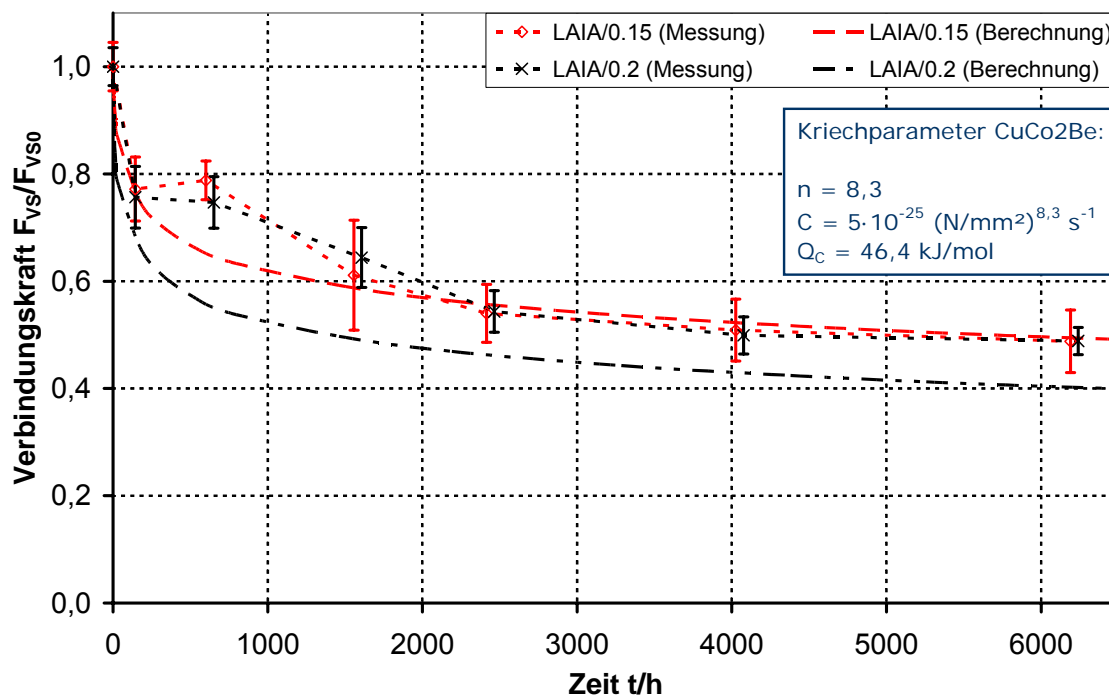


Bild 2: Vergleich Messung - FEM-Berechnung (Beispiel Wärmeschränk 115 °C)

[1] Lücke, N.: Untersuchungen zum Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen mit Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen abhängig von der Spannungsrelaxation, Jahresbericht IEEH 2008

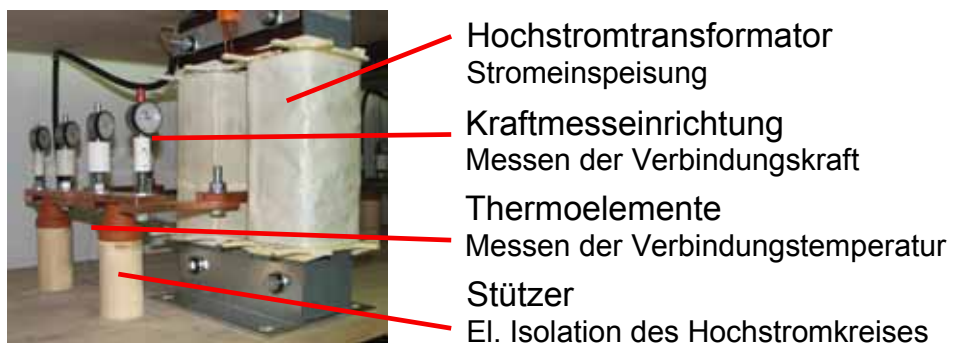


**Stephan Schlegel, Dipl.-Ing.**

### **Untersuchung des Langzeitverhaltens geschraubter Cu-Cu Verbindungen bei Temperaturen über 105 °C**

Ausgelöst durch den hohen Preis für Kupfer auf dem Weltmarkt und dem Wunsch vorhandene Netzstrukturen stärker auszulasten, wird versucht, die Grenztemperatur von Kupferverbindungen zu erhöhen. Dabei muss die sichere Übertragung der Elektroenergie gewährleistet bleiben. Es müssen die Übertragungsleitungen, aber vor allem die Verbindungen, der neuen Beanspruchung genügen, ohne dass deren Lebensdauer signifikant verkürzt wird. Die Lebensdauer soll bei geschraubten Verbindungen im Bereich mehrerer Jahrzehnte liegen. In dieser Zeit wirken verschiedene Alterungsprozesse in der Verbindung, die zu einem frühzeitigen Ausfall führen können. Für die Bewertung der Güte einer Verbindung unter erhöhter thermischer Belastung sind Kenntnisse über diese physikalischen Prozesse notwendig. Vor allem die stark temperaturabhängigen Prozesse, wie zum Beispiel der Kraftabbau, die Oxidation und die Interdiffusion, sind dabei besonders zu betrachten.

Um den Einfluss des Kraftabbaus auf die Lebensdauer geschraubter Cu-Cu-Verbindungen zu untersuchen, wurden Langzeitversuche aufgebaut (Bild 1).



*Bild 1: Versuchsaufbau - Kraftabbau bei geschraubten Cu-Cu-Verbindungen*

Es wurden der Kraftabbau und der Verbindungswiderstand abhängig von der Zeit im Temperaturbereich von 105 °C bis 160 °C untersucht. Dazu wurden unbeschichtete Cu-ETP<sup>2</sup>-Stromschienen mit unterschiedlichem

---

<sup>2</sup> Cu-ETP ist ein durch elektrolytische Raffination hergestelltes, sauerstoffhaltiges Kupfer (ehem. E - Cu58, E - Cu57)

Kaltverformungsgrad eingesetzt. Es wurden jeweils 5 Verbindungen mit Unterlegscheibe und Spanscheibe verschraubt.

Die Ergebnisse, hier am Beispiel von 105 °C, zeigen nach ca. 10000 h, dass die Verbindungskraft auf maximal 76 % der Anfangskraft abgebaut wurde. Da die Mindestverbindungskraft nicht unterschritten wurde, bleibt der Verbindungswiderstand bisher unverändert stabil (Bild 2).

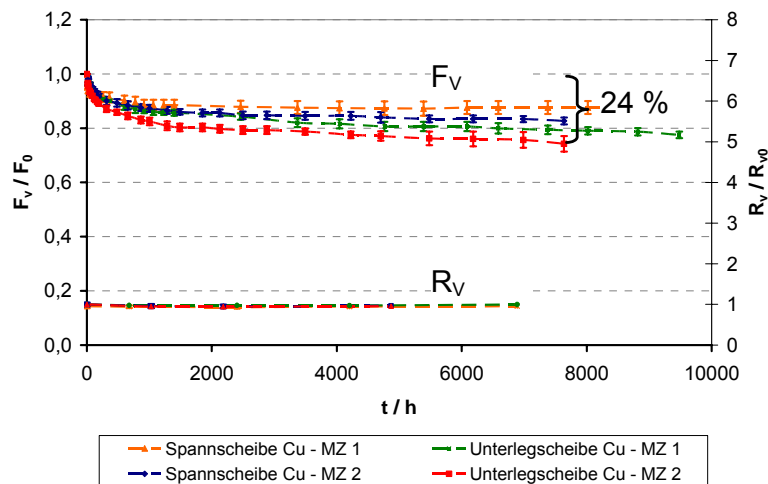


Bild 2: Kraftabbau abhängig von der Zeit bei 105 °C

Anhand dieser Ergebnisse können unter der Voraussetzung gleichbleibender physikalischer Mechanismen, erste Aussagen zum Langzeitverhalten der Verbindungen bezüglich des Kraftabbaus und dessen Einfluss auf den Verbindungswiderstand getroffen werden (Bild 3).

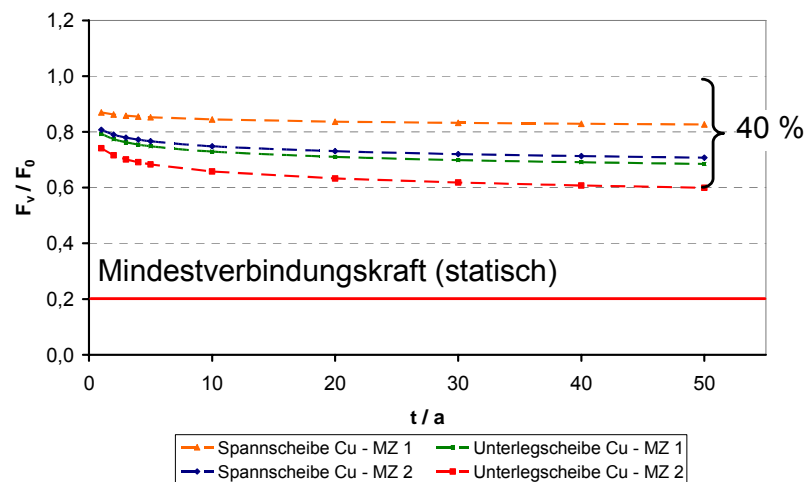


Bild 3: Berechneter Kraftabbau abhängig von der Zeit über 50 Jahre bei 105 °C

Bei Temperaturen  $\geq 140$  °C treten beim Kraftabbau in den Verbindungen abhängig vom Kaltverformungsgrad des Materials mehrere physikalische Mechanismen gleichzeitig auf. Der Einfluss auf das Langzeiterhalten wird damit deutlich größer.



Ronny Schneider, Dipl.-Ing.

### Alterung elektrischer Bimetallverbindungen

Die in der Elektroenergietechnik vorkommenden Bimetallverbindungen aus Al / Cu und Al / Ag haben i. d. R. nur eine kurze Lebensdauer. Zur Untersuchung der Ursachen der schnellen Alterung dieser Bimetallverbindungen wurden Langzeitversuche durchgeführt. Dazu wurden geschraubte Stromschieneverbindungen bei 190 °C unter Stickstoff in einem Wärmeschrank gelagert. Die Messung der Verbindungswiderstände erfolgte nach der Strom- und Spannungsmethode im erwärmten Zustand.

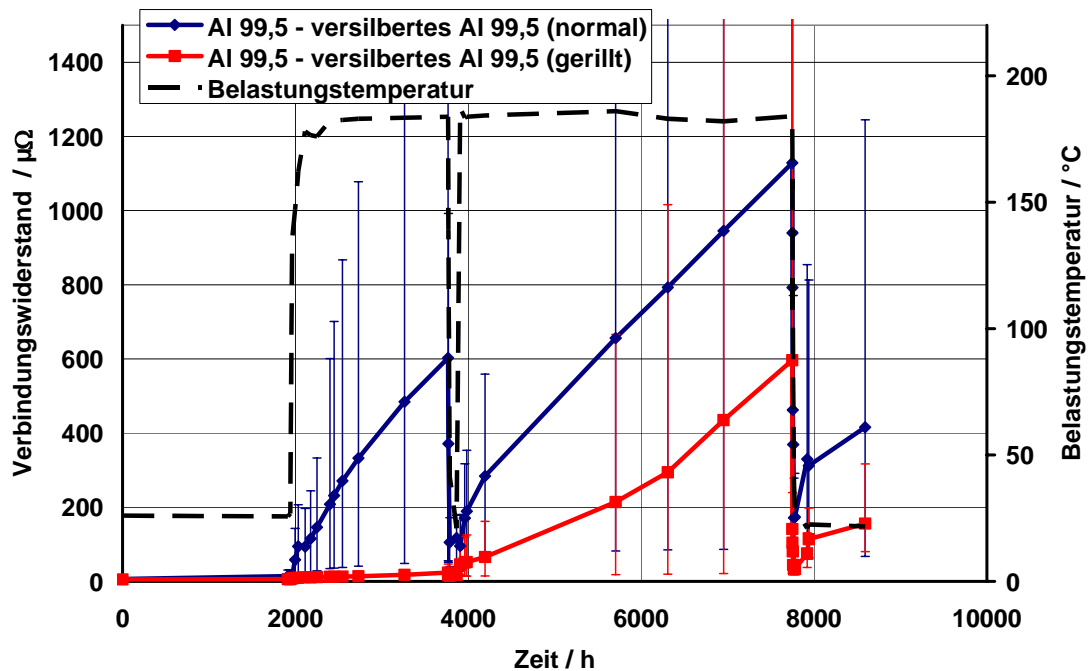


Bild 1: Gemessene Widerstandsverläufe an Al / Ag-Al Stromschieneverbindungen mit gerillten und ungerillten Verbindungsflächen

Werden die Stromschieneverbindungen erwärmt, werden die Verbindungswiderstände bei 190 °C exponentiell größer (Bild 1). Nach wenigen hundert Stunden sind die Verbindungswiderstände über 100  $\mu\Omega$  groß. Werden die Verbindungen auf Raumtemperatur abgekühlt z. B. bei 4000 h, wird deren Widerstand sprunghaft kleiner.

Um mögliche Interdiffusionsvorgänge, als Ursache für die starke Widerstandsänderung, untersuchen zu können, wurden einige Verbindungsflä-

chen der Stromschienen gerillt ausgeführt (Bild 1 - roter Verlauf). Bei diesen Verbindungen entstehen definierte Mikrokontakte, die dann unter dem Mikroskop gut sichtbar gemacht werden können. Nach 7800 Stunden wurden an einer dieser Verbindungen Schliffbilder angefertigt und EDX-Analysen durchgeführt (Bild 2).

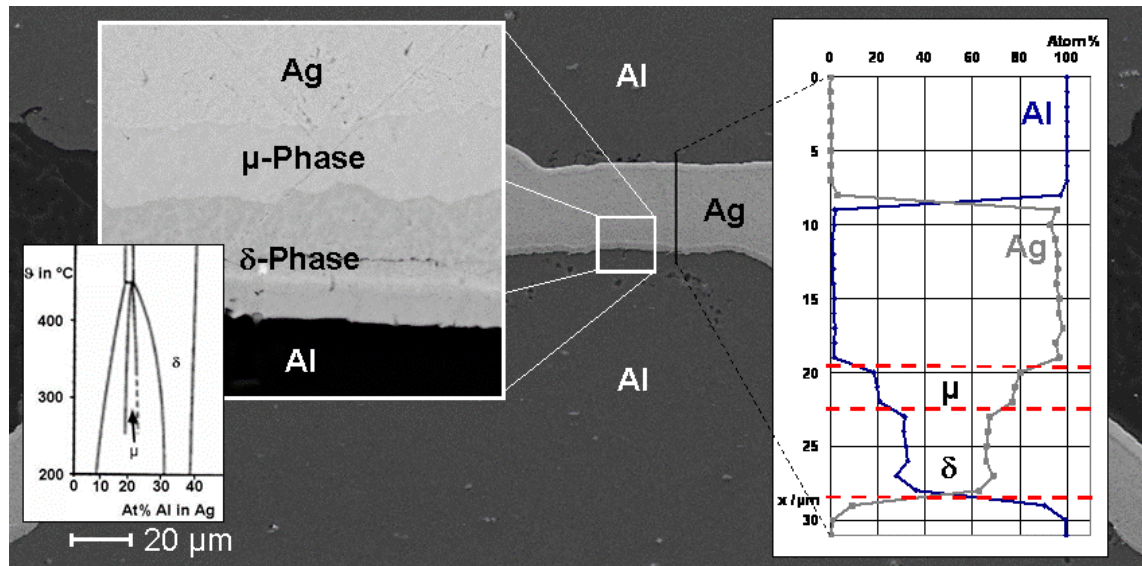


Bild 2: Mikroskopische Aufnahmen und die Atom-Konzentrationsverteilung von einer gerillten Aluminium – versilberten Aluminium – Stromschienenverbindung nach 7800 Stunden

Wie in der Literatur beschrieben, haben sich zwei gut sichtbare intermetallische Phasen gebildet, die  $\delta$ - und die  $\mu$ -Phase. Allerdings haben sich diese Phasen nur zwischen dem Silber und dem Aluminium der beschichteten Stromschiene gebildet. Direkt im Mikrokontakt (zwischen beschichteter und unbeschichteter Stromschiene) konnten keine intermetallischen Phasen nachgewiesen werden. Ein Grund dafür könnten dünne Aluminiumoxid-schichten mit einer Schichtdicke  $< 25 \text{ \AA}$  sein, die als Diffusionssperre wirken.

Die beiden intermetallischen Phasen zwischen der Beschichtung (Ag) und dem Grundmaterial (Al) können sich allerdings nicht so stark auf den Verbindungswiderstand ausgewirkt haben, wie es die Messungen ergeben.

Da die Stromschienen unter Luft verschraubt wurden, bilden sich vermutlich, trotz der Auslagerung der Verbindungen unter Stickstoff, Oxidschichten, die bei hoher Temperatur ( $190 \text{ }^\circ\text{C}$ ) in die Mikrokontakte hineinwachsen und den Verbindungswiderstand dadurch stark erhöhen. Kühlen die Verbindungen ab, kommt es vermutlich zu einem aufreißen dieser Oxidschichten durch die unterschiedliche Wärmeausdehnung zwischen Silber, Aluminium und der Oxidschicht.

### **Diplomarbeiten**

Gebauer, Sylvia

Untersuchungen zum Abbau der Verbindungskraft in geschraubten Cu-Cu-Verbindungen der Elektroenergietechnik bei Temperaturen über 105 °C  
DA 06/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. St. Schlegel)

Kowal, Katarzyna

Untersuchungen zum elektrischen Widerstand an geschraubten Stromschiennenverbindungen  
DA 08/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schneider)

Jenichen, Henry

Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen mit Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen abhängig von der Spannungsrelaxation bis zu einer Temperatur von 180 °C  
DA 01/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. N. Lücke)

Juskewitz, Robert

Untersuchungen zur Interdiffusion in beschichteten, geschraubten Kupferverbindungen bei Temperaturen über 105 °C  
DA 02/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. St. Schlegel)

### **Studienarbeiten**

Lachnitt, Jens

Untersuchungen zum Einfluss des Gleitverschleißes auf das Langzeitverhalten von Steckverbindungen mit Schraubenfederkontakten  
SA 11/2007 (Betreuer: Dipl.-Ing. F. Blumenroth)

Kaufmann, Benjamin

Einfluss der Interdiffusion auf die Alterung von Bimetallverbindungen in der Elektroenergietechnik  
SA 06/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schneider)

## Vorträge

Lücke, Nils

Spannungsrelaxation bei elektrischen Verbindungen mit CuBe<sub>2</sub>-  
Kontaktlamellen bis zu einer Temperatur von 140 °C  
17. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden,  
04.-06.06.2009

Schneider, Ronny

Langzeitverhalten des elektrischen Widerstandes geschraubter Bimetallver-  
bindungen bis zu einer Temperatur von 200 °C  
17. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden,  
04.-06.06.2009

Schlegel, Stephan

Kraftabbau an geschraubten Stromschienen-Verbindungen aus kaltverfes-  
tigtem Kupfer bei Temperaturen über 105 °C  
17. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden,  
04.-06.06.2009

Moustafa, Ghareeb

Effect of different types of mechanical contact device on the joint resistance  
of bolted copper joints  
17. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik, Dresden,  
04.-06.06.2009

Großmann, Steffen

Erhöhung der Stromtragfähigkeit von Freileitungen – Möglichkeiten und  
Risiken  
RIBE-Kolloquium, Schwabach, 17.06.2009

Conrad, Melanie

Methoden zur Messung und Berechnung der Erwärmung elektrotechnischer  
Betriebsmittel  
ZET-Workshop, TU Dresden, 01.10.2009

Schlegel, Stephan

Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen  
ZET-Workshop, TU Dresden, 01.10.2009

Lücke, Nils

Untersuchungen zum Langzeitverhalten von ruhenden Verbindungen in der  
Elektroenergietechnik  
20. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 08.10.2009

## **Forschung**

---

Adam, Robert

Erwärmung von Schaltgeräten und Schaltanlagen

10. Assistententreffen der Hochspannungs- und Hochstromtechnik,  
TU Dresden, 07.11.2009

Lücke, Nils

Langzeitverhalten elektrischer Verbindungen mit Kontaktlamellen

10. Assistententreffen der Hochspannungs- und Hochstromtechnik,  
TU Dresden, 07.11.2009

Schlegel, Stephan

Alterung geschraubter elektrischer Stromschienenverbindungen

10. Assistententreffen der Hochspannungs- und Hochstromtechnik,  
TU Dresden, 07.11.2009

Schneider, Ronny

Langzeitverhalten von Cu-/Al-Verbindungen

Hochschul-Kupfersymposium 2009, Duisburg, 11.-12.11.2009

## **Veröffentlichungen**

Berg, I.; Löbl, H.; Großmann, St.; Golletz, F.:

Thermal Behaviour of Network Components Depending on Outdoor  
Weather Conditions

CIREN - 20th International Conference on Electricity Distribution,  
Prag/Tschechien, 08.-11.06.2009, Paper 0568

Kaltenborn, U.; Moustafa, G.; Großmann, St.; Kral, R.:

The Ageing Behaviour of Novel MV-Busbar Connections

CIREN - 20th International Conference on Electricity Distribution,  
Prag/Tschechien, 08.-11.06.2009, Paper 0756

Blumenroth, F.; Lücke, N.; Schlegel, St.; Großmann, St.; Löbl, H.:

Untersuchungen zum Langzeitverhalten von ruhenden Verbindungen in der  
Elektroenergietechnik

20. Albert-Keil-Kontaktseminar, Karlsruhe, 08.10.2009, VDE-Fachbericht  
65, pp. 187 - 197



Schneider, R.; Löbl, H.; Großmann, St.; Schoenemann, T.; Hoidis, M.:  
Langzeitverhalten von Aluminium-Kupfer-Verbindungen in der Elektroenergie-  
gietechnik

METALL Internationale Fachzeitschrift für Metallurgie, 63. Jahrgang,  
11/2009, Giesel Verlag GmbH Isernhagen, S. 591 - 594

Moustafa, G.; Großmann, St., Abdel-Salam, M.; Dessouky, S. S.; El-  
Makkawy, S.:

Joint Resistance of Bolted Copper Bus-Bar Connections as influenced by  
Mechanical Contact Devices Material and Configuration

MEPCON'09 - 13th International Middle East Power Systems Conference,  
Assiut/Ägypten, 20.-23.12.2009



# Dissertationen



**Sven Achenbach**

**Beiträge zur analytischen Berechnung und Reduktion der aus Netzspannungsunsymmetrien resultierenden Harmonischen in Systemen der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung**

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler  
Prof. Dr.-Ing. habil. Grötzbach  
Prof. Dr.-Ing. Retzmann

Eine unsymmetrische Netzspannung mit einem Gegensystem der Grundharmonischen ist gewöhnlich die Hauptursache für die Emission von nicht-charakteristischen Harmonischen durch LCC-Stromrichter in klassischen HGÜ Systemen.

Auf der Gleichstromseite wird in diesem Fall eine 2. Harmonische der Gleichspannung erzeugt, welche einen entsprechenden harmonischen Strom verursacht (Bild 1). Dessen Amplitude kann auch ohne das Auftreten von Resonanzbedingungen größer sein als die Amplituden der größten charakteristischen Harmonischen. Die wesentlichsten negativen technischen Auswirkungen sind die unbeabsichtigte harmonische Kopplung beider durch die HGÜ verbundenen Netze und die Gefährdung der Thyristoren durch Stromlücken bei kleinen Übertragungsleistungen.

Die beiden größten drehstromseitigen nichtcharakteristischen Harmonischen, welche unter diesen Bedingungen auftreten, sind ein Gegensystem der Grundharmonischen und ein Mitsystem der 3. Harmonischen. Wegen der vorhandenen Vorbelastung und der häufig auftretenden niederfrequenten Resonanzen ist in der Praxis besonders die 3. Harmonische kritisch.

Um diese Probleme zu umgehen, werden auf der Gleichstromseite große Glättungsdrosseln und manchmal auch Sperrfilter installiert. Auf der Drehstromseite müssen Shunt-Filter die Pegel der 3. Harmonischen reduzieren. Der Aufwand dafür ist enorm, da nicht nur hohe Spannungen, sondern auch sehr große Ströme auftreten können.

Die Arbeit zeigt, dass dies durch eine Modifikation der Ventilzündung vermeidbar ist. Diese Lösung kommt ohne den beschriebenen Mehraufwand und ohne zusätzliche Komponenten im Hauptstromkreis aus. Ein Algorithmus zur Ermittlung der notwendigen kleinen Verschiebungen der Zündzeitpunkte wurde entwickelt.

Die Lösung erfordert eine detaillierte Modellierung der Vorgänge im Stromrichter – insbesondere bezüglich der Formierung der Harmonischen sowie des Transfers der Harmonischen von der Drehstrom- auf die Gleichstromseite und umgekehrt. Die Arbeit schlägt die analytische Berechnung der nichtcharakteristischen Harmonischen auf der Basis eines Teilzeigermodells unter besonderer Berücksichtigung der Kommutierung vor. Es wird gezeigt, dass sich die durch Spannungsunsymmetrie und unsymmetrische Ansteuerung bedingten harmonischen Teilzeiger näherungsweise linear überlagern lassen.

Für die Bestimmung der individuellen Ventilkommutierungswinkel wird ein neues Verfahren vorgeschlagen, das es erlaubt, diese auch bei hoher Welligkeit des Stromes auf der Gleichstromseite präzise zu berechnen. Darüber hinaus liefert die Arbeit einen Beitrag zur analytischen Berechnung der diskreten Werte des Gleichstromes zu den Zündzeitpunkten der Ventile.

Die entwickelten analytischen Berechnungsverfahren und die vorgeschlagene Methode zur Reduzierung der 2. Harmonischen wurden durch Simulation einer HGÜ-Kurzkupplung mit typischen Parametern verifiziert.

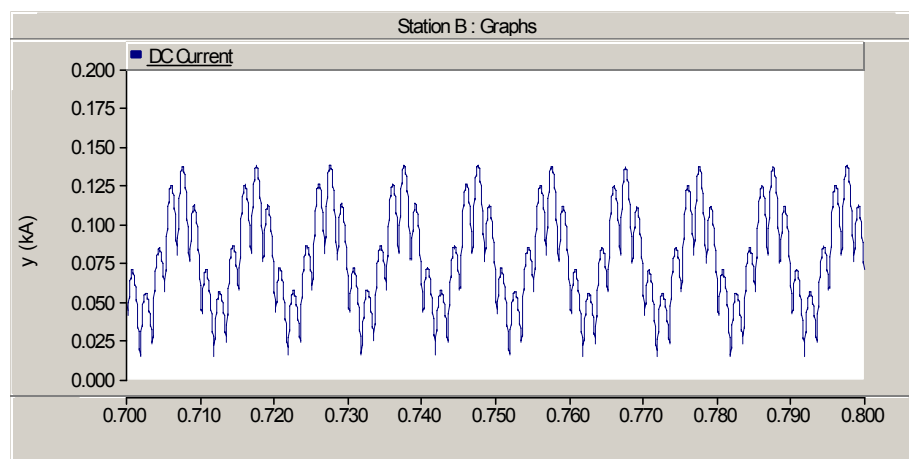


Bild 1: Strom auf der Gleichstromseite einer HGÜ bei Minimallast



# **Veranstaltungen**

### VDE-Preis 2008

Zur Jahresmitgliederversammlung des VDE-Bezirksvereins Dresden am 04. Februar 2009 wurde der VDE-Preis in Würdigung für hervorragende Leistungen in der Diplomarbeit verliehen. In diesem Jahr teilten sich vier Absolventen der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik und dem Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme die Auszeichnung, welche durch den VDE-Bezirksverein-Vorsitzenden Herrn Dipl.-Ing. Lungfiel verliehen wurde.

In diesem Zusammenhang gratulieren wir Herrn Dipl.-Ing. Stephan Schlegel recht herzlich, der für seine am IEEH entstandene Diplomarbeit zum Thema „Untersuchung zur Alterung durch Diffusion von geschraubten Verbindungen“ ausgezeichnet wurde.



Foto: Übergabe des VDE-Preises: (v. l.) DI Lungfiel, DI Große, DI Schug, DI König, DI Schlegel, Prof. Schegner, Prof. Großmann

*Übergabe des VDE-Preises zur Jahresmitgliederversammlung  
des VDE-Bezirksvereins Dresden*



### **Kolloquium anlässlich des 65. Geburtstages von Herrn Privatdozent Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl**

Aus Anlass des 65. Geburtstages von Herrn PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl fand am 23.01.2009 in der Hochspannungshalle unseres Institutes ein wissenschaftliches Kolloquium statt. Zu Beginn würdigte der Dekan der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Herr Prof. Dr.-Ing. Peter Schegner, die jahrzehntelange wissenschaftliche Arbeit in Forschung und Lehre von Herrn Löbl als Assistent, Oberassistent und Hochschullehrer. Anschließend fasste der Institutsdirektor, Herr Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann in einer Laudatio das Berufsleben von Herrn Löbl zusammen und würdigte seine Leistungen für das Institut. Während seiner Arbeit am Institut veröffentlichte Herr Löbl in Fachzeitschriften und Tagungsbänden mehr als 100 Beiträge. Außerdem kann auf eine Vielzahl von Institutsberichten und Vorträgen in Rahmen von Schulungen verwiesen werden.

Daran schlossen sich Vorträge von Partnern aus der Industrie an: *Herr Dr.-Ing. Thomas **Schoenemann***, ABB Schweiz AG, „Zur Auslegung von Generatorleistungsschaltern für hohe Bemessungsströme“ und *Herr Dr.-Ing. Mario **Schenk***, Siemens AG Nürnberg, „Eintritt in eine neue Dimension der Energieübertragung: 800 kV-Stromrichtertransformatoren für die längsten und leistungsfähigsten Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsanlagen der Welt“.

Bei einem gemeinsamen Abendessen mit musikalischer Einlage von dem Industriepartner Herrn Libor Billy (RIBE Subcon) fand ein gemütlicher Gedankenaustausch zwischen den ca. 60 Teilnehmern statt.



*Gäste in der Hochspannungshalle des IEEH*

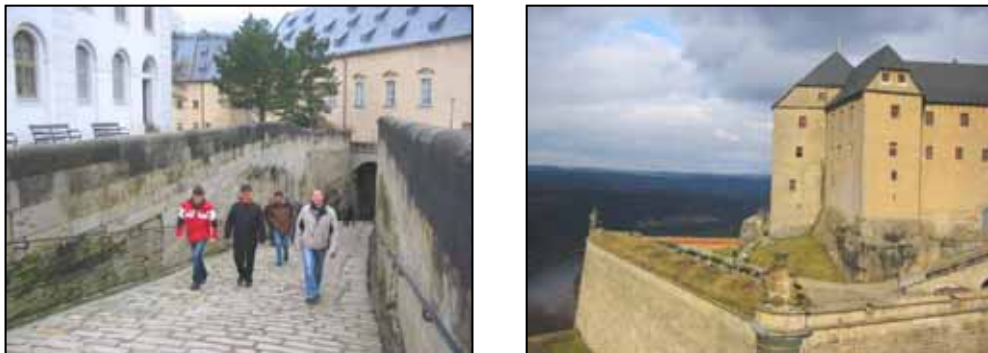
### Projekttag bei der WISMUT Königstein am 20.03.2009

Der diesjährige Projekttag führte uns in die Sächsische Schweiz, wo wir zunächst die Niederlassung Königstein der Wismut GmbH besichtigen durften. Dort erfuhren wir in einem Vortrag mehr zur Geschichte des Standortes, den Besonderheiten des chemischen Uranabbaus durch Laugungstechnologien und den aktuellen Stand der Sanierung und Flutung der Gruben. Anschließend führten uns die Kumpel durch die über Tage gelegenen Anlagen zur Wasserwiederaufbereitung, zu den Seilschächten und der elektrischen Schaltanlage.



*Wismut GmbH Niederlassung Königstein*

Danach ließen wir uns zusammen das Mittagessen in der betriebseigenen Kantine schmecken. Für den kulturellen Teil des Tages begaben wir uns nach dem Mittag auf die nahe gelegene Festung Königstein und wurden in den Kasematten durch die Jahrhunderte der Festungsgeschichte geführt.



*Festung Königstein*

### **Ehrenkolloquium zum 80. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. Pundt**

Am 28. April 2009 fand sich bei einem Ehrenkolloquium im renovierten Hörsaal des Görgebaus eine sehr große Schar von Gratulanten bei ihrem ehemaligen Hochschullehrer und beim Geschäftsführer des VDE-Bezirksvereins Dresden, Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt ein. In einer Laudatio würdigte der Dekan unserer Fakultät, Prof. Schegner, die Verdienste des Jubilars für die Elektroenergieversorgung sowie für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses auf diesem Gebiet. Auf die besonderen Leistungen bei der Wiedergründung des VDE-Bezirksvereins Dresden im Jahre 1990 sowie das außerordentlich engagierte Wirken für den VDE über fast zwanzig Jahre ging der VDE-Vorstandsvorsitzende, Herr Dr.-Ing. Hans Heinz Zimmer in seinem Beitrag ein. Typisch für Prof. Pundt ist, dass er nicht darauf verzichten wollte, selbst einen Rückblick über sein erfülltes und erfolgreiches berufliches Leben in der ihm eigenen Art zu geben. Bei einem netten, geselligen Abend wurden von vielen Mitstreitern Begegnungen und Episoden mit Prof. Pundt wieder in Erinnerung gerufen.

Das IEEH bedankt sich ausdrücklich bei Prof. Pundt für sein Wirken zum Wohle unseres Instituts.



*Gratulation für den Jubilar, Prof. Hans Pundt, zu seinem 80. Geburtstag durch die Kollegen des Instituts*



### „Power“-Grill am 13.05.2009

Die Tradition des „Power“-Grillens hinter der Hochspannungshalle lockte auch dieses Jahr wieder zahlreiche Studenten zum Gespräch mit den Hochschullehrern und Mitarbeitern des Elektrotechnischen Instituts (ETI) und des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH). Die interessierten, angehenden Ingenieure erhielten dabei die Gelegenheit, mehr über die Möglichkeiten der Vertiefungsrichtung Energietechnik im Hauptstudium zu erfahren. Bei einem Laborrundgang wurden neben der Hochspannungshalle auch die Praktikumsversuchsstände sowie die aktuellen Projektarbeiten der Institute vorgestellt. Somit konnten in lockerer Atmosphäre bei Grillgut Fragen beantwortet, Eindrücke für kommende Semester gewonnen und neue Kontakte geknüpft werden. Die gute Zusammenarbeit zwischen Lehrenden und Studierenden, auf die an unserem Institut besonders Wert gelegt wird, resultiert unter anderem aus solchen Gesprächen.



### Exkursionen

#### *VDE-Exkursion Elektrotechnik vom 02.-05.06.2009 nach Erlangen/Nürnberg*

Traditionsgemäß wurde vom VDE-Bezirksverein Dresden eine Studentensexkursion in der vorlesungsfreien Woche nach Pfingsten angeboten. In diesem Jahr überließ Professor Pundt zum ersten Mal die Organisation den Mitarbeitern der Energietechnik-Lehrstühle. Die erste Station war das Siemens Niederspannungsschaltechnikwerk in Amberg. Neben der Fertigung von Schaltanlagen konnten an diesem Standort auch Komponenten der Automatisierungstechnik besichtigt werden. Am zweiten Tag stand zunächst Siemens LargeDrives mit einer Führung durch die Fertigung von elektrischen Maschinen sowie Baugruppen für deren Regelung auf dem Programm. Das Funktionsprinzip und die Vorteile der HVDC-PLUS-Technologie zur verlustarmen Übertragung von Elektroenergie wurden am Nachmittag an einem Testumrichter deutlich gemacht. Ein Besuch der Fertigungshallen von HVDC- und SVC-Modulen stand am dritten Tag auf dem Plan. Zunächst wurden die Techniken in einer Präsentation vorgestellt und nach einem Rundgang durch den Herstellungsprozess an einer Testanlage vorgeführt. Der Nachmittag war dem Transformatorenwerk in Nürnberg gewidmet. Siemens stellt dort vor allem Maschinentransformatoren und Transformatoren für HGÜ-Anlagen her. Beim Rundgang durch die Fertigung wurde deutlich, dass dieses Werk eher einer Manufaktur gleicht, denn die meisten Schritte des Herstellungsprozesses können nicht automatisiert werden.

Bei einem von Siemens gesponserten Besuch der Erlanger Bergkirchweih hatten die Studenten die Möglichkeit, sich bei den Mitarbeitern über den Einsatz als Elektroingenieur bei Siemens zu informieren. So ganz nebenbei konnten die Energiespeicher mit einem frisch gezapften, bayrischen Bier gefüllt werden. Die Rückreise am nächsten Morgen wurde mit einem Zwischenstopp bei SebaKMT in Baunach verbunden, wobei dieses Gruppenfoto vor dem Firmengebäude entstand.



## **Veranstaltungen**

---

*Folgende weitere Exkursionen wurden durchgeführt:*

- VDE-Exkursion zum KW Schwarze Pumpe am 17.01.2009
- Siemens-Transformatorenwerk Dresden am 27.01.2009
- Exkursionen zur DREWAG ins Gasturbinen-Heizkraftwerk Nossener Brücke mit Studenten der Fakultäten Maschinenwesen und Wirtschaftsingenieurwesen (3. Semester) am 30.01.2009
- VDE-Exkursion zur CeBit nach Hannover am 07.03.2009
- VDE-Exkursion zur Industriemesse nach Hannover am 21.04.2009
- Schaltleitung der ENSO in Heidenau und 380-kV-Anlage Vattenfall Dresden Süd im Rahmen der Vorlesung „Leittechnik“ am 15.06.2009
- 380-kV-Anlage Vattenfall Dresden Süd (Feldmessungen) im Rahmen der Vorlesung „Felder von Elektroenergieanlagen und deren Wirkungen“ am 18.06.2009
- Besuch der Ausstellung „Blitzschutztechnik“ in Dresden mit Studenten der gleichnamigen Vorlesung am 19.06.2009
- 380-kV-Anlage Vattenfall Dresden Süd (Messungen) im Rahmen der Vorlesung „Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung“ am 23.06.2009
- 380-kV-Anlage Vattenfall Dresden Süd (Besichtigung) im Rahmen der Vorlesung „Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure“ am 26.06.2009

**Schnupperstudium für einen Tag am 08.01.2009**

**Uni-Tag am 16.05.2009**

Angesichts des enormen Bedarfs der Industrie an gut ausgebildeten Absolventen auf unserem Fachgebiet gehört es zu den vorrangigen Aufgaben des Instituts für geeigneten studentischen Nachwuchs zu sorgen. Möglichkeiten dazu bieten das jährlich stattfindende Schnupperstudium sowie der Uni-Tag. Beim Schnupperstudium können Schüler aus Gymnasien der Region für einen Tag am realen Lehrbetrieb teilnehmen. Am Uni-Tag ist der Campus für alle Interessenten offen. Beide Veranstaltungen wurden auch in diesem Jahr wieder gut besucht.

### Besuch der Ausstellung „Blitzschutz“ in Dresden

Der langjährige Vorsitzende des VDE-Arbeitskreises „Blitzschutz“, Herr Dr.-Ing. Werner Naumann, präsentiert in Dresden in einer Ausstellung zur Historie und zum aktuellen Stand der Blitzschutztechnik eine interessante Sammlung von Dokumenten, Büchern und Exponaten, die er selbst während eines ganzen Berufslebens zusammengetragen hat. Bereits zum zweiten Mal haben die Studenten der Lehrveranstaltung „Blitzschutztechnik“ am IEEH diese Ausstellung gemeinsam mit Prof. Großmann besucht. Sehr anschaulich erläutert Dr. Naumann die Anfänge und die technische Entwicklung des Blitzschutzes und verweist dabei auf Wissenschaftler, die unter anderem an der TU Dresden diesen Fortschritt wesentlich mit bestimmt haben. Besondere Aufmerksamkeiten schenken die Studenten älteren und modernen Exponaten zum äußeren Blitzschutz, Bauteilen, die durch Blitzeinwirkung geschädigt wurden und den bei der Erdung und beim Blitzschutz verwendeten Messgeräten. Herrn Dr. Naumann gilt ein ausdrücklicher Dank für diese Initiative und für die Bereitschaft, den Studierenden als erfahrener Blitzschutztechniker für eine Vielzahl von Fragen zur Verfügung gestanden zu haben. Vielleicht gibt es bis zum nächsten Jahr schon wieder einige neue Exponate in der Sammlung.



*Dokumentationen und Exponate in der Blitzschutzausstellung*

*Fotos: Dr. Werner Naumann, Dresden*



## Veranstaltungen

---

### 17. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik 05. - 06.06.2009 in Dresden

Zum jährlichen Treffen des „Darmstädter Kreises“ begrüßte am 06. und 07. Juni 2009 das Dresdner IEEH die Partnerinstitute aus Darmstadt, Ilmenau, München und Zittau.

Gegenstand der Vortragsreihen waren die aktuellen Forschungsschwerpunkte der einzelnen Institute auf den Gebieten der Isolierstoffe, der Schaltgeräte, der Varistoren sowie elektrischer Verbindungen und Anlagen unter Moderation ihrer Professoren. Für junge Mitarbeiter bot sich dabei insbesondere die Möglichkeit der wissenschaftlichen Diskussion sowie des persönlichen Kennenlernens und des Erfahrungsaustauschs.

Zum Rahmenprogramm der Veranstaltung zählten die Besichtigung der VEM Sachsenwerk GmbH, die Vorstellung der IEEH-Labore und ein geselliges Miteinander.





### **Assistentenausflug der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik vom 24. - 26.07.2009 nach Annaberg-Buchholz**

Am Lehrstuhl für Hochspannungs- und Hochstromtechnik gehört es bereits seit vielen Jahren zu einer guten Tradition, an einem Sommerwochenende die Heimat eines wissenschaftlichen Mitarbeiters zu besuchen. Dazu waren auch in diesem Jahr zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls mit Begleitung nach Annaberg-Buchholz ins Erzgebirge gereist.

Das Programm begann mit einer Stadtführung durch die Hauptstadt des Erzgebirges. Treffpunkt war am barocken Rathaus von Annaberg. Von dort aus ging es über den Markplatz mit dem historischen Barbara-Uthmann-Denkmal zur einzigen Bergkirche Sachsens (St. Marien). Weiter führte uns der Weg durch die sehenswerte historische Altstadt mit zahlreichen, detailgetreu sanierten Bürger- und Patrizierhäusern zur größten spätgotischen Hallenkirche Sachsens (St. Annen).

Der Samstag begann mit einer Wanderung zum Gipfel des Pöhlbergs auf einer Höhe von 832 m, mit Zwischenstationen im Tiergehege am Fuße des Berges und an den berühmten Basaltsäulen (Butterfässer). Belohnt wurde der Aufstieg mit einem beeindruckenden Blick auf Annaberg und die umliegenden Dörfer sowie die landschaftliche Schönheit des Erzgebirges. Am Nachmittag besichtigten wir das historische Frohnauer Hammerwerk, wo den Besuchern zunächst die Funktion des kleinen Hammers und der Blasebälge vorgeführt wurde. Weiterhin konnten noch eine Ausstellung der dort einst gefertigten Erzeugnisse sowie die Volkskunstgalerie und das Herrenhaus in Augenschein genommen werden.

Abgerundet wurde der diesjährige Assistentenausflug mit einem Spaziergang durch die Wolkensteiner Schweiz, der auch eine Führung der hochmittelalterlichen Burg Wolkenstein mit dem angeschlossenen Heimatmuseum beinhaltete. Im einzigen Zughotel Europas in Wolkenstein fand das abschließende gemeinsame Mittagessen statt.



*Gruppenbild am Pöhlberg (Foto: S. Schlegel)*

### 1. ZET-Workshop am 01.10.2009 Zuverlässigkeit und Lebensdauer energietechnischer Anlagen

Am 01. Oktober 2009 fand der 1. interdisziplinäre Workshop zum Thema „Zuverlässigkeit und Lebensdauer energietechnischer Anlagen“ statt. Ziel der Veranstaltung war es, die am neuen Zentrum für Energietechnik (ZET) beteiligten Institute der Fakultät Maschinenwesen und der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik bei fakultätsübergreifenden Forschungsaktivitäten intensiver zu vernetzen.

In insgesamt zwölf Beiträgen wurde über aktuelle Forschungsprojekte informiert. Es wurden experimentelle und numerische Methoden und Ansätze vorgestellt und diskutiert, sowie eingesetzte Messtechnik und Software präsentiert.

Die Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik war durch die Institute Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik und das Elektrotechnische Institut vertreten. Von der Fakultät Maschinenwesen waren die Institute für Strömungsmechanik und Energietechnik beteiligt. Durch einen gemeinsamen Imbiss nach Ende der Vortragsreihe konnte in gemütlicher Runde der Grundstein für eine intensivere Zusammenarbeit zwischen den Rund 30 Teilnehmern gelegt werden.

Der Erfolg dieser Veranstaltung verdeutlichte, wie wichtig eine Plattform zum Gedankenaustausch bei interdisziplinären Forschungsprojekten ist, um die Ressourcen benachbarter Institute zu kennen und auf kurzem Wege zu erreichen.



*Gedankenaustausch über Projekte in gemütlicher Runde nach der Vortragsreihe*

*Eröffnen des Themenkomplexes „Lebensdauer Energietechnischer Anlagen“ durch Prof. Großmann*



### Öffentlichkeitsarbeit

Neben den vorgenannten Veranstaltungen fanden Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen für die ENSO Energie Sachsen Ost AG, die LTB Leitungsbau GmbH, die Feuerwehr Dresden, die Polizeischule Bautzen, die Universität Magdeburg, die HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH, die TU Chemnitz, die Fachschule für Technik Bautzen, die Infineon Technologies Dresden und iseg Spezialelektronik GmbH statt.

Experimentalvorträge wurden für Schüler von Gymnasien aus Bremerhaven, Bitterfeld, Suhl sowie Dresden und Umgebung durchgeführt.

### Weiterbildung

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl und Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann waren im März und November 2008 als Dozenten bei der Ausbildung zum akkreditierten Elektrothermografen des Verbandes der Schadensversicherer VdS tätig.

Dr.-Ing. Jan Meyer war im Mai 2009 als Referent im Rahmen des Seminars „POWER QUALITY - Arbeiten mit Signaturen“ des Steinbeis-Transferzentrums der Hochschule Mannheim tätig.

Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann und Dipl.-Ing. Hans-Peter Pampel waren im August 2009 als Dozenten der an der TU Dresden stattfindenden Weiterbildung für ingenieurtechnische Mitarbeiter der RIBE Elektroarmaturen GmbH & Co tätig.

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl und Dr.-Ing. Joachim Speck waren im 2. Halbjahr 2009 im Rahmen des „Support Elektrotechnik – Hochstromtechnik – Hochspannungstechnik“ als Dozenten für die AREVA Energietechnik GmbH in Regensburg tätig.

Nunmehr zum dritten Mal führte Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann am 29.09.2009 eine Schulung zur Hochspannungs- und Hochstromtechnik für die Polizei in Sachsen mit Seminar und Experimenten in unserem Labor durch.

Dr.-Ing. Jan Meyer und Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler waren in der Zeit vom 28.09. – 02.10.2009 als Referenten im Rahmen des VDE-Seminars „Netzurückwirkungen in Theorie und Praxis“ in Dresden tätig.

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl war im Oktober 2009 als Dozent bei der Ausbildung zu „Infrarotdiagnose an Verbindungen der Elektroenergietechnik“ für das Haus der Technik in Essen tätig.

### Semperoper Uraufführung „UT-OP.er“ oder „Das ewige Jetzt“

Am 23. Oktober 2009 wurde in der Hochspannungshalle der TU Dresden das Musiktheater von Alexander Strauch und Martina Veh frei nach „Utopia“ von Thomas Morus aus dem Jahre 1516 als Auftragswerk der Sächsischen Staatsoper Dresden, Semper Kleine Szene, uraufgeführt. Weitere vier gut besuchte Aufführungen innerhalb einer Woche folgten. Auf der „Suche nach dem nicht existierenden Ideal“ bot sich für den Intendanten der Semperoper Dresden, Prof. Gerd Uecker und sein künstlerisches Team, die Hochspannungshalle mit ihren (zumindest für den Laien) utopisch wirkenden Ausrüstungen als ideale Kulisse an. Für alle, die diese Aufführung sehen konnten, war dies ein tolles, unvergessliches Kunsterlebnis.

Damit waren natürlich für die Mitarbeiter des Instituts und die Forschungspartner zeitweilige Unterbrechungen ihrer Forschungsarbeit verbunden und es gab zusätzliche Aufwendungen. Für das Verständnis und das Mitwirken gilt allen ein besonderer Dank. Das Zusammenwirken von Kunst, Technik und Wissenschaft kostet Kraft, war aber sicher für alle Beteiligten auch eine Bereicherung, auf die wir rückblickend nicht verzichten wollten.

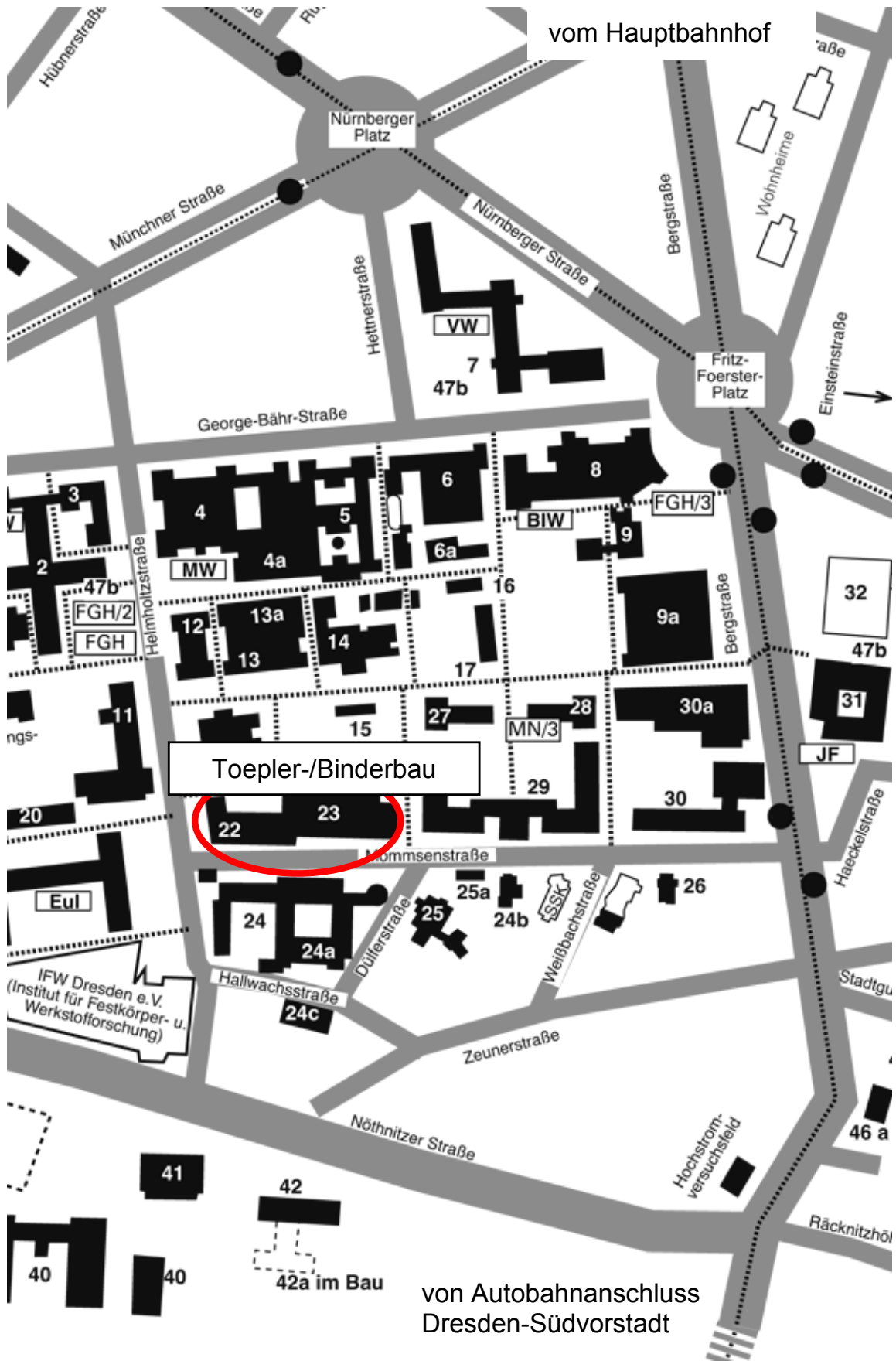


*Szene aus UT-OP.er  
(Foto: Matthias Creutziger/Staatsoper Dresden)*

# **Anfahrtsskizze**



# Anfahrtsskizze



Sitz des Institutes:

Mommsenstraße 10/12 (Binderbau/Toeplerbau)  
Erdgeschoss Zi. 124/125  
01069 Dresden

(Eingang direkt gegenüber von „Alte Mensa“)

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 S 2** bis Dresden-Hauptbahnhof
- über die **Autobahn A 17**, Abfahrt Dresden-Südvorstadt, in Richtung Stadtzentrum bis zur Universität (Mommsenstraße)