

Institut für Elektrische Energieversorgung  
und Hochspannungstechnik

# Jahresbericht 2010

## Inhalt

Personelle Besetzung	7
Lehre	13
Forschung	17
Dissertationen	65
Veranstaltungen	71
Labor-, Prüf- und Messtechnik	87
Anfahrtsskizze	89

Titelfoto von Dr.-Ing. Jan Meyer

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 einem Rückblick in das vergangene, recht erfolgreiche Jahr 2010 grüßen wir Sie recht herzlich zum Beginn des neuen Jahres.

Die gute Zusammenarbeit mit unseren Partnern in der Industrie und Energiewirtschaft sowie einige öffentlich geförderte Projekte haben uns auch im letzten Jahr wieder eine umfangreiche und erfolgreiche Forschung ermöglicht. Somit konnten wir in diesem Jahr zwölf neue Mitarbeiter in unserem Institut begrüßen, die auch aus Syrien, Griechenland, Vietnam und China kommen.

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, Herrn Prof. Gert Winkler, Dr. Eberhard Engelmann, Dr. Hartmut Bauer und Dr. Helmut Löbl, die uns trotz ihres wohlverdienten Ruhestandes immer wieder mit Rat und Tat in Lehre und Forschung unterstützen.

Ein großer Verlust für das Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik sowie für den VDE-Bezirksverein Dresden war der Tod von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt, der mit seinen Aktivitäten beim VDE auch maßgeblich das Leben am Institut mit geprägt und uns in vielfältiger Weise unterstützt hat. Wir werden sein Andenken ehrend bewahren.

Ein besonderer Höhepunkt war die aktive Mitwirkung vieler Mitarbeiter bei der 8. VDE-Fachtagung „Arbeiten unter Spannung“ im September 2010, die auch diesmal sehr gut besucht war und mit praktischen Vorführungen in der Hochspannungshalle und im Freiluft-Versuchsfeld das Interesse vieler Fachkollegen und Studenten auf sich zog.

## **Jahresbericht 2010**

---

Zum dritten Mal hat sich unser Institut am Industrie-Partner-Symposium der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik aktiv beteiligt und konnte den Interessenten mit hervorragenden Plenarvorträgen von Herrn Prof. Helmut Böhme, Herrn Prof. Alexander Michaelis und Herrn Dr. Uwe Kaltenborn sowie begeistert vorgetragenen Berichten junger Wissenschaftler ein abwechslungsreiches Programm bieten.

Zum Wintersemester 2010/2011 wurden die ersten Studenten immatrikuliert, die in dem neu modularisierten Diplomstudiengang nach zehn Semestern durchgängigen Studiums ihren Abschluss erhalten werden. Erfreulicherweise ist die Zahl der Elektrotechnik-Studenten weniger rückläufig gewesen als es die demografische Entwicklung der Bevölkerung vermuten ließ. Dennoch wird auch in den nächsten Jahren die Zahl der Absolventen kleiner sein als der Bedarf der Industrie an jungen Ingenieuren. Die Bemühungen der Fakultät und des VDE-Bezirksverein Dresden um studentischen Nachwuchs werden fortgesetzt, ebenso wie die Aktivitäten, den Einstieg ins Studium der Elektrotechnik zu erleichtern.

Mit Freude nehmen wir immer wieder das Interesse ehemaliger Studenten und Mitarbeiter am Institutsleben wahr. Mehrere ehemalige Seminargruppen oder Einzelpersonen haben uns besucht, ebenso der Stammtisch der ehemaligen Hochspannungs- und Hochstromtechnik-Assistenten.

Für das vor uns liegende Jahr 2011 haben wir uns das Ziel gestellt, einen aktiven Beitrag zur Bündelung von Forschungsaktivitäten der Elektroenergie-technik in Sachsen gemeinsam mit der Industrie zu leisten. Die Gesellschaft für Wissenstransfer der TU Dresden – GWT GmbH wird gemeinsam mit dem VDE-Bezirksverein Dresden dafür eine Plattform schaffen.

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 2011 und freue mich auf eine weiterhin gute Zusammenarbeit.

Dresden, im Dezember 2010



Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann  
Institutsdirektor



**Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt  
(1929 – 2010)**

Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt ist im Alter von 80 Jahren plötzlich und unerwartet verstorben. Er hat das gesamte Gebiet der elektrischen Energieversorgung weit über die Grenzen der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dresden hinaus geprägt und mitgestaltet.

Er studierte ab 1949 an der damaligen Technischen Hochschule Dresden Elektrotechnik und diplomierte 1953. Anschließend arbeitete er auf dem Gebiet der Netzausbauplanung, des Netzbetriebes und der Netzberechnung beim VEB Verbundnetz Ost in Dresden.

Nach seiner Promotion im Jahr 1963 bei Prof. Dr.-Ing. Harald Koettnitz an der Technischen Universität Dresden mit einer Dissertation zum Thema „Untersuchungen der Ausgleichsvorgänge beim Erdschluss in Hochspannungsnetzen mit isoliertem Sternpunkt und induktiver Sternpunktterdung als Grundlage zur selektiven Erdschlusserfassung“ wurde er als Hochschuldozent an das Institut für elektrische Energieanlagen berufen. Er habilitierte 1968 und erhielt anschließend die Professur für das Fachgebiet „Netzplanung und Netzberechnung“.

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt war nach der Wende maßgeblich an der fachlichen und personellen Ausgestaltung der elektrischen Energietechnik der Fakultät Elektrotechnik beteiligt. Bis 1995 leitete Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt das Institut für Elektroenergieversorgung als Direktor.

Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt war Mitautor zahlreicher Fachbücher. Der Schwerpunkt seines wissenschaftlichen Wirkens lag auf den Gebieten der Netzberechnung, der Netzplanung und der Sternpunktbehandlung. Hervorzuheben sind die von ihm in großer Anzahl durchgeführten Erdschlussversuche. Mit diesen hat er seine theoretischen Erkenntnisse gefestigt. Von ihm wurden mehr als 35 Doktoranden zur Promotion geführt.

Neben seinen Aktivitäten als Hochschullehrer hat er sich außerordentlich stark und sehr persönlich beim VDE-Bezirksverein Dresden eingebracht. Dort war er 18 Jahre Vorsitzender und dann Geschäftsführer. Durch sein Engagement hat er auch insbesondere nach seiner Emeritierung die Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik weiter tatkräftig unterstützt. Bei den Studenten war Prof. Pundt wegen seines hohen Fachwissens, aber auch wegen seiner direkten und herzerfrischenden Art sehr beliebt.

Kollegen und Mitarbeiter haben Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pundt auf Grund seiner herausragenden Fähigkeiten als Ingenieur und Wissenschaftler und seines profunden Detailwissens auf dem Gebiet der elektrischen Energietechnik außerordentlich geschätzt.



## **Personelle Besetzung**

## Personelle Besetzung

### Mitarbeiter

An unserem Institut konnten wir 12 neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter begrüßen:

Herrn Dipl.-Ing. Max Domagk	(ab 11.01.2010)
Herrn Dipl.-Ing. Benjamin Kaufmann	(ab 15.03.2010)
Herrn Dipl.-Ing. Christian Hildmann	(ab 12.04.2010)
Herrn Dipl.-Ing. Tobias Heß	(ab 03.05.2010)
Herrn M.Eng. Maher Bakka	(ab 01.07.2010)
Herrn Dipl.-Ing. Matthias Klatt	(ab 01.08.2010)
Frau Dipl.-Ing. Stephanie Pfeifer	(ab 01.10.2010)
Herrn M.Eng. Moyan Wei	(ab 14.09.2010)
Herrn Falk Eusewig (Werkstatt)	(ab 01.08.2010)
Herrn Dr. Vo Ngoc Dieu	(ab 01.09.2010)
Herrn Dipl.-Ing. Sebastian Dreier	(ab 01.11.2010)
Herrn Dr. Apostolos Apollon Paraskevopoulos	(ab 01.12.2010)

An der Professur Elektroenergieversorgung weilte im Juni Herr Prof. Rastko Zivanovic von der Universität Adelaide/Australien zu einem Forschungsaufenthalt.



*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. 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:regina.scharf@tu-dresden.de">regina.scharf@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:jan.meyer@tu-dresden.de">jan.meyer@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. Karsten Backhaus <a href="mailto:backhaus@ieeh.et.tu-dresden.de">backhaus@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33080
	M.Eng. Maher Bakka <a href="mailto:bakka@ieeh.et.tu-dresden.de">bakka@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33608

## 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:joerg.dickert@tu-dresden.de">joerg.dickert@tu-dresden.de</a>	35272
Dr. Vo Ngoc Dieu <a href="mailto:vo@ieeh.et.tu-dresden.de">vo@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32941
Dipl.-Ing. Max Domagk <a href="mailto:max.domagk@tu-dresden.de">max.domagk@tu-dresden.de</a>	35223
Dipl.-Ing. Etienne Gasch <a href="mailto:etienne.gasch@tu-dresden.de">etienne.gasch@tu-dresden.de</a>	35223
Dr.-Ing. Christian Henze <a href="mailto:christian.henze@tu-dresden.de">christian.henze@tu-dresden.de</a>	35353
Dipl.-Ing. Tobias Heß <a href="mailto:tobias.hess@tu-dresden.de">tobias.hess@tu-dresden.de</a>	32941
Dipl.-Ing. Christian Hildmann <a href="mailto:hildmann@ieeh.et.tu-dresden.de">hildmann@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34948
Dipl.-Ing. Benjamin Kaufmann <a href="mailto:kaufmann@ieeh.et.tu-dresden.de">kaufmann@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34756
Dipl.-Ing. Matthias Klatt <a href="mailto:matthias.klatt@tu-dresden.de">matthias.klatt@tu-dresden.de</a>	35223
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:joerg.meyer@tu-dresden.de">joerg.meyer@tu-dresden.de</a>	32941
Dr. Apostolos Apollon Paraskevopoulos <a href="mailto:paraskevopoulos@ieeh.et.tu-dresden.de">paraskevopoulos@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	35223
Dipl.-Ing. Stephanie Pfeifer <a href="mailto:stephanie.pfeifer@tu-dresden.de">stephanie.pfeifer@tu-dresden.de</a>	32746
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

## Personelle Besetzung

---

	Dipl.-Ing. Roberto Schulze <a href="mailto:roberto.schulze@tu-dresden.de">roberto.schulze@tu-dresden.de</a>	35353
	Dipl.-Ing. Philipp Stachel <a href="mailto:philipp.stachel@tu-dresden.de">philipp.stachel@tu-dresden.de</a>	35272
	M.Eng. Moyan Wei <a href="mailto:wei@ieeh.et.tu-dresden.de">wei@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	33608
Technische Angestellte	Dipl.-Ing. (FH) Axel Göres <a href="mailto:goeres@ieeh.et.tu-dresden.de">goeres@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	32613
	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
	Falk Eusewig <a href="mailto:eusewig@ieeh.et.tu-dresden.de">eusewig@ieeh.et.tu-dresden.de</a>	34260
	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*

- Prodekan der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Stellv. Vorsitzender des Prüfungsausschusses der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik
- Vorsitzender des VDE-Bezirksverein Dresden
- Arbeitskreis „Hochspannungsgeräte und -anlagen“ im VDE-BV Dresden
- Mitglied des Vorstands der Freunde und Förderer der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

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

- Fachkollegiat der DFG
- persönliches Mitglied FGH, IEEE, VDE
- Gesellschaft von Freunden und Förderern der TU Dresden e.V.
- EMTP-Usergroup
- Mitglied des Vorstands der Freunde und Förderer der Fakultät Elektrotechnik und 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“

#### *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“
- AK 10 „Koordination der Isolation“ beim VDE-BV Dresden
- 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“
- Expertennetzwerk „Netzurückwirkungen“ des FNN Berlin im VDE
- Deutsches Komitee CIREN
- CIGRE

#### *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

---

### 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	
Hochspannungs-Prüf- und Messtechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck		2 / 0 / 1
Blitzschutztechnik Prof. Dr.-Ing. Großmann	1 / 1 / 0	

---

	<b>Lehre</b>	
Vorlesungen / Übungen / Praktika	SS	WS
Statistik für Elektrotechniker Prof. Dr.-Ing. Großmann / Dr.-Ing. Speck	2 / 0 / 1	
Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung Doz. Dr.-Ing. Bauer	1 / 1 / 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>		
Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure und Lehramt an berufsbil- denden 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 20
- **Hochspannungstechnik und Hochstromtechnik** Seite 45

### Unsere Forschungspartner

50Hertz Transmission GmbH  
ABB  
AiF  
Alcan Singen GmbH  
AREVA  
Betonbau GmbH und Co. KG  
BSD Bildungs- und Servicezentrum GmbH  
Cellpack GmbH  
Doble Lemke 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  
LTB Dresden  
MC 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

Schneider electric

Siemens AG

Stadtwerke Oranienburg

SMT und Hybrid GmbH Dresden Weißig

ThyssenKrupp Aufzugswerke

Übigauer Schaltanlagen Uesa GmbH

Vattenfall Europe Distribution GmbH

VEM Sachsenwerk GmbH

VEM Motors

Witthinrich

### Elektrische Energieversorgung

Die Entwicklung der elektrischen Energieversorgung wird zurzeit durch die Integration von dezentralen und 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**

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.

Grundlagen des übergeordneten Schutzes von elektrischen Transport- und Verteilungssystemen (Systemschutz).

- **Netzbetrieb**

Stochastische Modellierung von Niederspannungslasten.

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**

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

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

Untersuchung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Mittelspannungs-Spannungswandlern.

- **Elektromagnetische Verträglichkeit**

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

- **Elektroenergiequalität und Netzurückwirkungen**

Messgeräteunabhängiges Datenbanksystem zur zentralen Speicherung von Messdaten der Elektroenergiequalität.

Anwendung statistischer Methoden zur automatisierten und messort-übergreifenden Bewertung der Spannungsqualität.

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.

Bewertung der Überlagerung von Harmonischen moderner Lampen (Kompaktleuchtstoffröhren, LED-Leuchten) mit elektrischen Haushaltsgeräten.



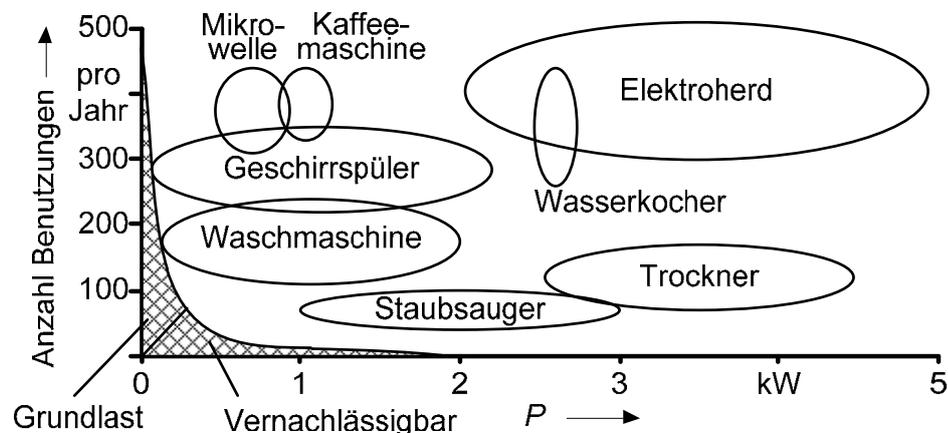
**Jörg Dickert, Dipl.-Ing.**

### **Probabilistische Lastmodellierung für die Niederspannungsnetzplanung**

Bei der Netzplanung spielt die Modellierung der Lasten eine wichtige Rolle. Besonders bei der Berechnung von Niederspannungsnetzen stehen dazu wenige Daten bereit. Außer dem Jahresenergieverbrauch und Informationen über den Anschluss meldepflichtiger Geräte hat der Planer wenige Informationen über das Erzeugungs- und Verbrauchsverhalten der Haushaltskunden zur Verfügung.

Das typische Verhalten von Haushaltskunden ist jedoch bekannt. Der Tagesverlauf zeigt eine konstante Grundlast von 50 bis 150 Watt, welche von Lastspitzen mit geringer Dauer überlagert werden. Die Lastspitzen korrelieren mit dem Erwärmen von Stoffen (Wasser, Mahlzeiten), wobei elektrische Energie in thermische Energie umgewandelt wird. Daher zählen Elektroherd, Wasserkocher, Waschmaschine und Trockner als Geräte, die auf die Spitzenleistung von Haushalten einen signifikanten Einfluss haben.

Die Herausforderung besteht in der Ermittlung der Last für eine Gruppe von Verbrauchern. Da die Lastspitzen nur sehr kurz auftreten, ist die Wahrscheinlichkeit der Überlagerung sehr gering und beruht auf sozialen Faktoren. Dies wird heutzutage mit dem Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt. Für eine Vielzahl von Untersuchungen wird ein erweitertes Lastmodell benötigt. Dafür wird der Bottom-up-Ansatz vorgeschlagen, wobei alle relevanten Geräte in den Haushalten analysiert und mathematisch beschrieben werden.



*Bild 1: Geräte und Benutzungen von einem Haushalt*

Bild 1 zeigt exemplarisch einige Geräte, deren Leistungsbereich und die wahrscheinliche Anzahl der Benutzungen im Jahr. Für eine korrekte Simulation müssen die Haushalte klassifiziert (Anzahl Personen, Tätigkeit) und der Elektrifizierungsgrad (Allgemeinbedarf, teil-, voll-, all-elektrisch) bekannt sein. Die Simulation beachtet auch jahreszeitliche Schwankungen im Energieverbrauch.

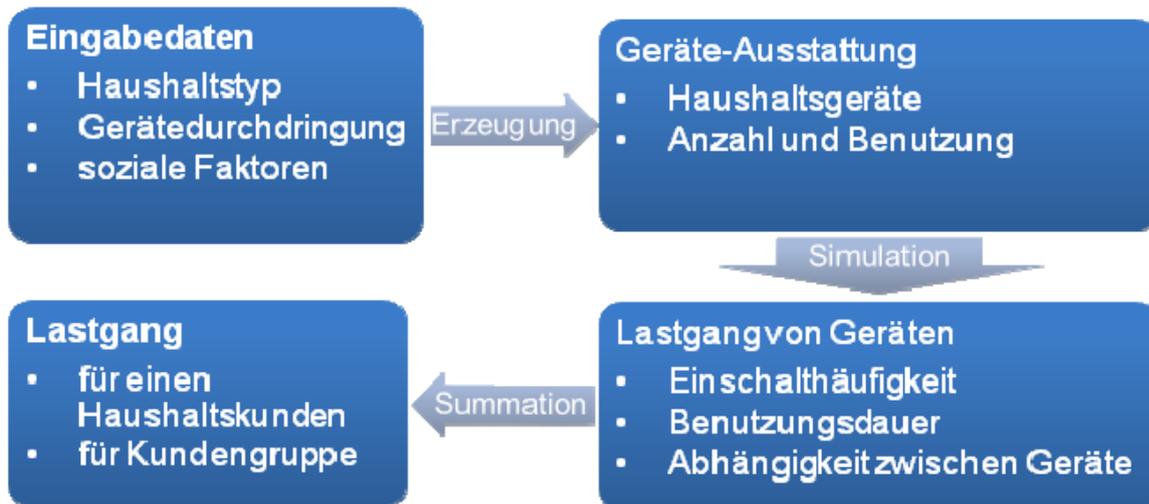


Bild 2: Ablauf der Lastmodellierung

Der wesentliche Ablauf der Lastmodellierung ist in Bild 2 dargestellt. Dieses Verfahren ermöglicht zudem die Berücksichtigung neuer Technologien. So kann z. B. der Einfluss von Elektromobilität oder der Laststeuerung simuliert werden. Die Zeitauflösung der Modellierung beträgt 30 Sekunden. Für die Netzplanung sind jedoch 10-Minuten-Mittelwerte von Interesse, um die Einhaltung von Spannungsgrenzen und Strombelastbarkeit der Betriebsmittel zu berechnen. Zudem sind mit den generierten Lastverläufen auch Aussagen zu den Häufigkeiten von Unter- und Überschreitungen möglich. In Bild 3 ist ein simulierter Lastverlauf für eine Woche dargestellt.

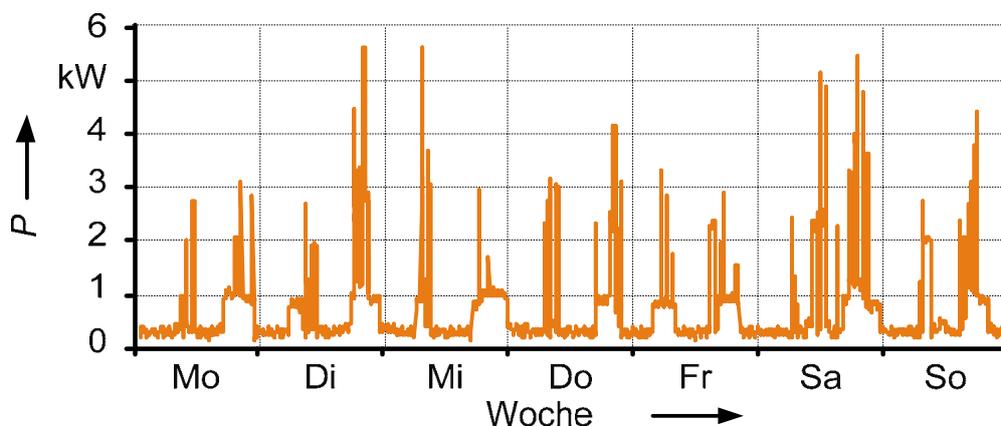


Bild 3: Simulierter Lastverlauf eines Haushalts für eine Woche



**Max Domagk, Dipl.-Ing.**

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

Die Elektroenergiequalität im Verteilungsnetz ist abhängig von Ort und Zeit und wird durch verschiedene Qualitätskenngrößen beschrieben. Örtliche und zeitliche Abhängigkeit resultieren aus einer Vielzahl verschiedener Einflussfaktoren, welche sich entweder der elektrischen oder der klimatischen Umgebung am betrachteten Anschlusspunkt zuordnen lassen. Die elektrische Umgebung wird einerseits durch Art und Anzahl aktiver Verbraucher bzw. Erzeuger und somit durch das Verhalten der angeschlossenen Abnehmer charakterisiert (Abnehmerstruktur), andererseits ist sie durch Struktur und technische Parameter des versorgenden Verteilungsnetzes bestimmt (Netzstruktur). Die klimatische Umgebung (Umweltbedingungen) umfasst Einflüsse wie bspw. Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Niederschlag.

Aus den Umgebungseinflüssen und der Elektroenergiequalität ergeben sich eine Vielzahl von verlaufsorientierten Kenngrößen (z. B. Effektivwerte, Harmonische oder Unsymmetrie für Strom- und Spannungsqualität, Temperatur, Niederschlag, oder die Intensität der Globalstrahlung für die Umgebungsbedingungen), die für den jeweils betrachteten Messort aufgezeichnet werden können. Erfolgen die Messungen an den einzelnen Orten über einen Zeitraum von mehreren Jahren, werden die Datenmengen immer größer, in denen sowohl zwischen den Messorten als auch den Kenngrößen nach Zusammenhängen gesucht werden kann. Geeignete Werkzeuge hierzu bieten die Verfahren der statistischen Datenanalyse. Das Ziel ist die systematisierte Identifikation korrelativer Zusammenhänge zwischen den genannten Umgebungseinflüssen und der Elektroenergiequalität. Des Weiteren sollen die gefundenen Zusammenhänge auf Basis geeigneter Parameter quantifiziert werden.

Die statistischen Verfahren lassen sich in univariate und multivariate Methoden, je nachdem, ob eine oder mehrere Kenngrößen gleichzeitig betrachtet werden, unterteilen. Ein Überblick ist in Bild 1 dargestellt.

Die univariaten Methoden bieten beispielsweise mit der deskriptiven Statistik eine gute Möglichkeit verlaufsorientierte Kenngrößen anschaulich aufzubereiten und auf wenige Parameter zu reduzieren. Die klassische Zeitreihenanalyse mit der Anwendung des additiven Komponentenmodells scheint für die Untersuchung von verlaufsorientierten Kenngrößen prädestiniert.

Diese wird für die Identifikation von Parametern zur Quantifizierung von korrelativen Zusammenhängen weiter verfolgt.

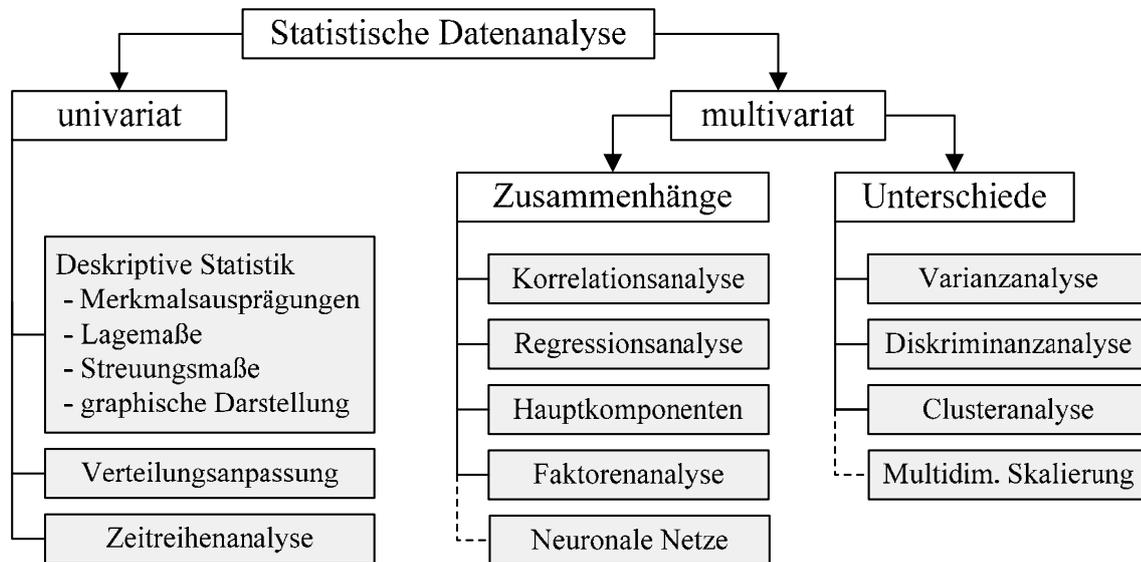


Bild 1: Übersicht der Verfahren zur statistischen Datenanalyse

Mithilfe der multivariaten Methoden wird versucht, große Datensätze bestehend aus mehreren Merkmalen zu untersuchen. Hierbei kann unterschieden werden zwischen Verfahren, die Unterschiede herausstellen oder Verfahren, die versuchen Gemeinsamkeiten zwischen den Objekten zu finden. Speziell für die Untersuchung auf Zusammenhänge eignen sich die sogenannte Korrelationsanalyse und die Regressionsanalyse, um die gefundenen Zusammenhänge funktional zu beschreiben. Werden die Datenmengen zu groß und unüberschaubar, so müssen diese Informationen verdichtet werden, ohne die wesentliche Charakteristik der gemessenen Kenngrößen zu verfälschen. Gegebenenfalls können mit Hilfe der Multidimensionalen Skalierung die einzelnen Messorte anhand ihrer Vielzahl von gemessenen Kenngrößen zueinander positioniert und anschließend mittels Clusteranalyse in Gruppen eingeteilt werden. Für die künftig automatisierte Auswertung von großen Datenmengen sind die multivariaten Verfahren unabdingbar.



**Christian Henze, Dr.-Ing.**

### **Optimierung des Übertragungsverhaltens von induktiven Mittelspannungs-Stromwandlern im Frequenzbereich bis 10 kHz**

Die ständig anwachsende Anzahl von Stromrichteranlagen, sowohl im Mittelspannungs- als auch Niederspannungsnetz, verursachen in zunehmendem Maße Oberschwingungen in Strom und Spannung. Insbesondere durch die stärkere Verbreitung von selbstgeführten Schaltungen, deren Taktfrequenz im Bereich von einigen Kilohertz liegt, treten zunehmend Oberschwingungen in Frequenzbereichen auf, die bisher nur eine untergeordnete Rolle spielten. Hierdurch können eine Reihe von unerwünschten Effekten im Netz und bei Erzeuger- bzw. Verbraucheranlagen ausgelöst werden. Diese reichen von Funktionsstörungen über drastische Reduzierung der Lebensdauer bis hin zur Zerstörung von Anlagen. Daher ist es notwendig, diese Oberschwingungen sowohl in Kundenanlagen als auch im Netz zu erfassen bzw. die Einhaltung entsprechender Grenzwerte zu überprüfen. Hierfür sind Strom- und Spannungswandler erforderlich, die eine betrag- und phasenrichtige Übertragung der Oberschwingungsströme in ausreichender Genauigkeit gewährleisten.

Bei Stromwandlern wird der Frequenzgang vorrangig durch die mit steigender Frequenz zunehmenden Wirbelströme und Stromverdrängungseffekte beeinträchtigt. Mithilfe von geeigneten 2D- und 3D-Simulationsmodellen sollen der Einsatz neuer Magnetmaterialien, die Änderung der Struktur und des Aufbaus des Stromwandlerkerns sowie der Aufbau und die Anordnung der Wicklungen zur Optimierung des Frequenzganges bis 10 kHz untersucht werden. Für die Simulationsrechnungen wird das FEM-Programm ANSYS verwendet.

Zunächst wird ein vereinfachtes 2D-Modell eines Stabstromwandlers mit dem Übersetzungsverhältnis 50:1 erstellt. Der Primärleiter verläuft in Richtung der  $z$ -Achse. Der Kern wird als geblecht nachgebildet, wobei die Blechdicke  $d = 0,3$  mm beträgt. Die finiten Elemente sollten nicht größer als Eindrittel der Eindringtiefe gewählt werden. Hieraus resultiert insbesondere für höhere Frequenzen eine sehr große Anzahl von Elementen und folglich eine sehr große Rechenzeit. Aufgrund des symmetrischen Wandleraufbaus genügt die Berechnung von einem Fünftel des Wandlers. Mit dem so entstandenen Sektormodell (Bild 1) kann die Rechenzeit um ein Vielfaches reduziert werden.

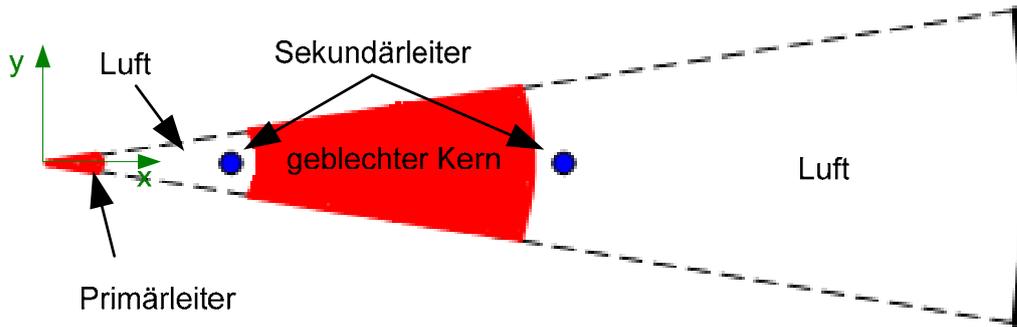


Bild 1: Darstellung des 2D-Modells eines Stabstromwandlers

Dieses 2D-Modell ermöglicht bei Vorgabe eines ein- oder mehrfrequenten Primärstromes die Berechnung des Sekundärstromes und damit den Amplituden- und Winkelfehler des Wandlers. Weiterhin können die Stromdichte und die Wirbelstromverluste im geblechten Eisenkern (Bild 2) sowie im Sekundärleiter berechnet werden.

Das 2D-Modell unterliegt jedoch bestimmten Einschränkungen. Um beispielsweise die Wandlerbürde bei der Berechnung berücksichtigen zu können, ist zwingend der Übergang zu einem 3D-Modell des Wandlers erforderlich.

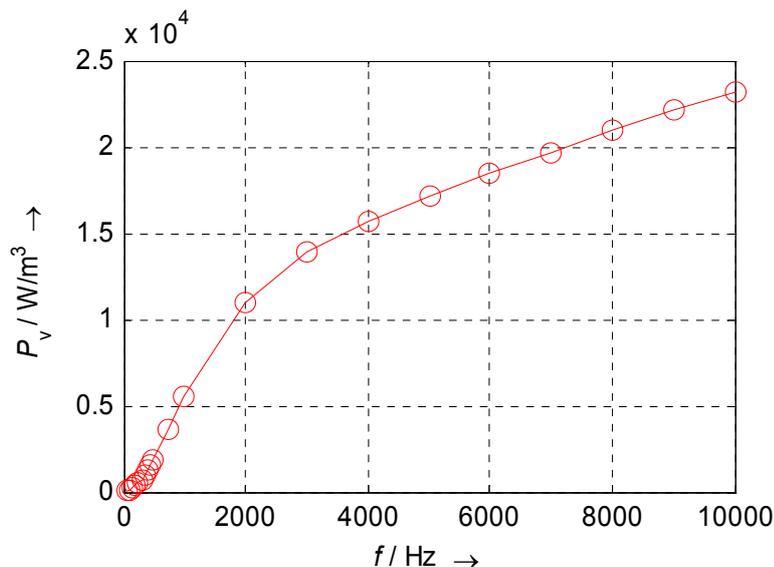


Bild 2: Frequenzabhängigkeit der Wirbelstromverluste bei einfrequenter Einspeisung

Parallel zu der FEM-Berechnung erfolgt die Fertigung von Modellstromwandlern durch das Unternehmen Ritz Instrument Transformers GmbH am Standort Ottendorf-Okrilla. Mithilfe eines geeigneten Stromverstärkers werden die zugehörigen Frequenzgänge am IEEH gemessen. Erste Vergleiche zeigen eine gute Übereinstimmung von Messung und Berechnung.



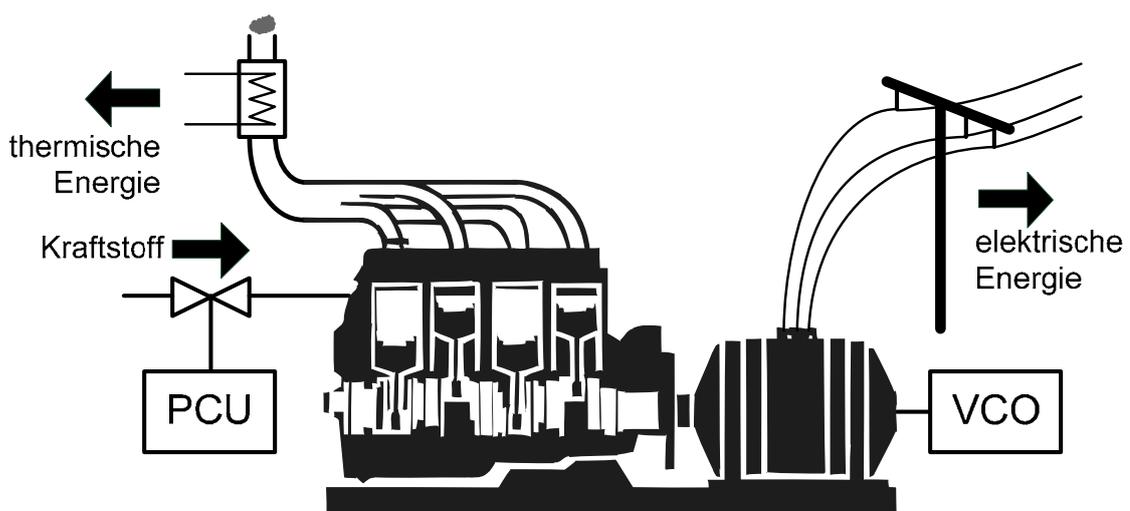
**Tobias Heß, Dipl.-Ing.**

### **Untersuchung des dynamischen Betriebsverhalten von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen in Smart Grids**

Die weltweite steigende Nachfrage nach elektrischer Energie, die Rohstoffverknappung und der Klimawandel sind derzeit die zentralen Herausforderungen des Energiesystems. Ein diskutierter und zukunftssträchtiger Lösungsansatz dieser Herausforderungen ist der Aufbau und Betrieb von „Smart Grids“, um den Wandel zu dezentralen Erzeugungsstrukturen bei einem Höchstmaß an Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit sicherzustellen.

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird dabei als integraler Bestandteil solcher Netze mit intelligentem Energiemanagement gesehen. Da die benötigte Primärenergie zum Betrieb der Anlage ständig zur Verfügung steht, ist eine planbare und gesicherte Steuerung und Regelung der Energieerzeugung möglich und unterstützt so die Integration begrenzt planbarer regenerativer Energieerzeugung wie Windkraft und Photovoltaik.

Im Rahmen des fakultätsübergreifenden Projektes „Smart Energy Management“ soll eine Gesamtsystemanalyse aus thermischer und elektrotechnischer Sicht erfolgen. So arbeiten in diesem Projekt die Professuren Heizungs- und Raumluftechnik, Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft, Bauphysik, Baubetriebswesen, und Elektroenergieversorgung zusammen.



*Bild 1: Schematische Darstellung des BHKW mit Verbrennungsmotor, Generator, Frequenz-Leistungsregler (PCU) und Spannungsregler (VCO)*

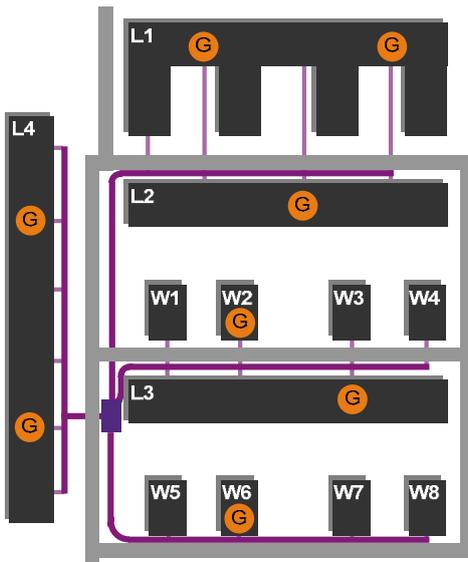


Bild 2: Wohngebiet mit Niederspannungsnetz

Für die Modellierung des elektrischen Netzes wurde ein dynamisches Modell einer Mini-KWK-Anlage entworfen. Dies basiert auf einem motorisch angetriebenen Blockheizkraftwerk (BHKW). Die wesentlichen Bestandteile sind: Verbrennungsmotor, bürstenloser Synchrongenerator, elastische Kupplung, Wärmetauscher und Spannungs- sowie Frequenzleistungsregler (siehe Bild 1).

Als erster Schwerpunkt im Rahmen des Projektes wird der Betrieb von Mini-KWK-Anlagen im Micro-Grid untersucht. Als Micro-Grid wird ein kleines Niederspannungsnetz ohne Verbindung zum Verbundnetz betrachtet. Bild 2 zeigt das von allen Projektpartnern untersuchte Wohngebiet.

Insgesamt gibt es 320 Wohnungen für die die elektrischen Lastengänge mit der probabilistischen Lastmodellierung nachgebildet wurden [1]. Für das gesamte Wohngebiet ergibt sich so eine Spitzenlast von 362 kW. Zur Deckung des elektrischen Energiebedarfs sind 8 Mini-KWK-Anlagen mit einer Nennleistung von 50 kW installiert. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten, sind immer nur so viele Anlagen in Betrieb, die benötigt werden, um den elektrischen Energiebedarf und eine Regelreserve von 50 kW zu decken.

Für verschiedene Szenarien wurde der Inselbetrieb nach DIN EN 50160 bewertet. Es konnte gezeigt werden, dass im ungestörten Betrieb die Anforderungen der Norm erfüllt werden (siehe Bild 3).

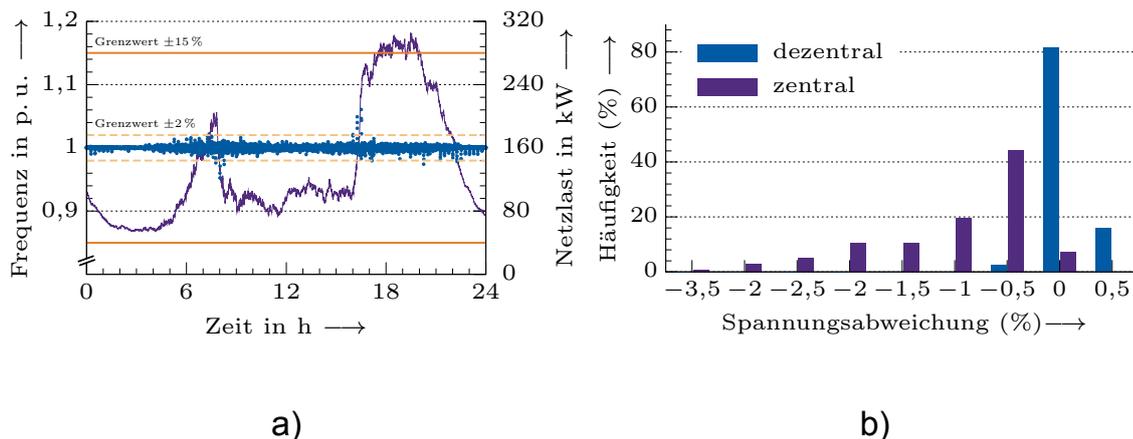


Bild 3: Ergebnisse der dynamischen Simulation

a) Verlauf der 10-Sekunden-Mittelwerte der Frequenz über einen Tag

b) Histogramm der 10-Minuten-Mittelwerte der Spannungsabweichungen

[1] Dickert, J.: Probabilistische Lastmodellierung für die Niederspannungsnetzplanung. Jahresbericht 2010, TU Dresden, IEEH



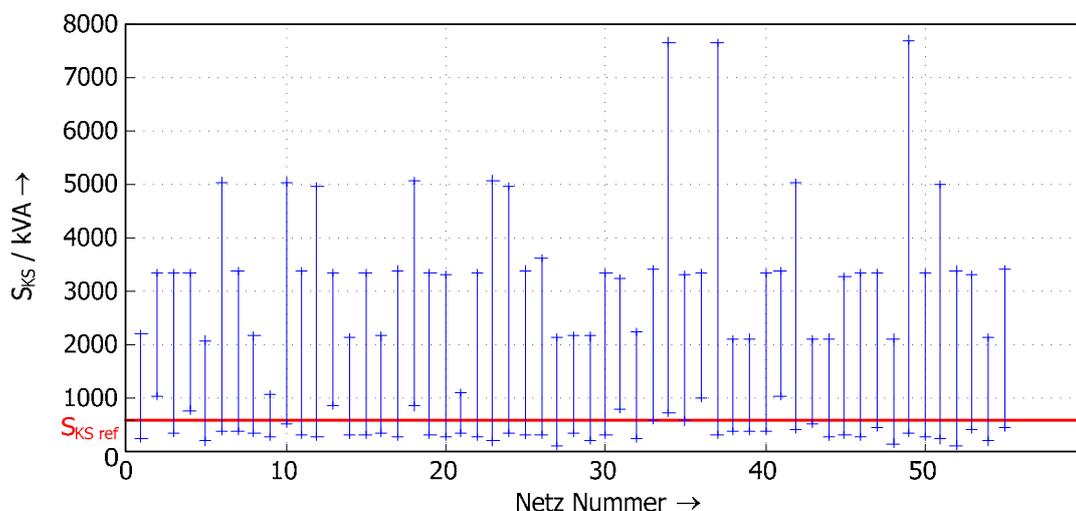
**Matthias Klatt, Dipl.-Ing.**

### **Analyse der Elektroenergiequalität in ländlichen Netzen mit hohem Anteil an Kleinerzeugungsanlagen**

Die Anzahl von Kleinerzeugungsanlagen in Niederspannungsnetzen (hauptsächlich kleine Photovoltaikanlagen) in Deutschland ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Diese fortschreitende Entwicklung wird ausgelöst durch die gegenwärtigen politischen Rahmenbedingungen, welche die Errichtung solcher Kleinanlagen aktiv bewirbt und fördert. Oft finden sich wirtschaftliche Standorte für diese Anlagen in ländlichen Gegenden, in denen große Dachflächen, zum Beispiel auf Scheunen, verfügbar sind. Ländliche Niederspannungsnetze sind üblicherweise "schwächer" als städtische Netze. Das bedeutet, dass die Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt  $S_{KV}$  geringer ist, wodurch höhere Netzzrückwirkungen zu erwarten sind.

Für das Projekt wurde ein Mittelspannungsring in einer ländlichen Gegend mit 51 unterlagerten Niederspannungsnetzen ausgewählt. Mehr als 180 Photovoltaikanlagen mit Bemessungsleistungen von 5 kVA bis 130 kVA sind in diesen Netzen in Betrieb. Die Gesamtspitzenleistung dieser Anlagen beträgt mehr als 2 MW. Die Schwankungsbreite der Kurzschlussleistungen in den NS-Netzen ist in Bild 1 angegeben.

Ein wesentliches Ziel der Forschungsarbeit ist die Untersuchung der Auswirkungen des vermehrten Einsatzes von dezentralen Erzeugungsanlagen auf die Elektroenergiequalität bei verschiedenen Netzbedingungen. Beispielsweise soll untersucht werden, ob viele kleine Erzeugungsanlagen eine andere Auswirkung auf das Netz haben, als wenige, größere Anlagen.



*Bild 1: Verteilung der  $S_{KV}$  in den untersuchten NS-Netzen*

Am Anfang der Arbeit stand eine detaillierte Analyse der Niederspannungsnetze bezüglich dreier Kriterien: *Netzstruktur*, *Verbraucherstruktur* und *Erzeugerstruktur*.

Die *Netzstruktur* lässt sich anhand der Kurzschlussleistung an verschiedenen Anschlusspunkten bewerten. Die zur Kurzschlussleistung indirekt proportionale Netzimpedanz ist das Maß für die Stärke von Netzurückwirkungen. Der Vergleich mit einer der Referenzimpedanz entsprechenden Kurzschlussleistung  $S_{KV,ref}$  zeigt, dass in vielen Netzen auch Verknüpfungspunkte mit einer Kurzschlussleistung kleiner als dem Referenzwert existieren (siehe Bild 1).

Bezüglich der *Verbraucher-* und *Erzeugerstruktur* wurden verschiedene Indizes berechnet. Für die Analyse des Einflusses der Anzahl von PV-Anlagen wird beispielsweise die installierte Leistung je Netz in Abhängigkeit der Anlagenzahl untersucht. Basierend auf der Analyse wurden geeignete Messorte ausgewählt. Bild 2 zeigt die für das genannte Beispiel getroffene Auswahl.

In den ausgewählten Niederspannungsnetzen wurden im Juni 2010 Langzeitmessungen begonnen. Die Messungen gehen deutlich über die Forderungen der EN 50160 hinaus. Die Messwerte werden in 1-min-Intervallen erfasst und das Spektrum wird bis 10 kHz gemessen. Die Messdaten werden zentral in einer herstellerunabhängigen Datenbank gespeichert und für die nachfolgende Auswertung bereitgestellt.

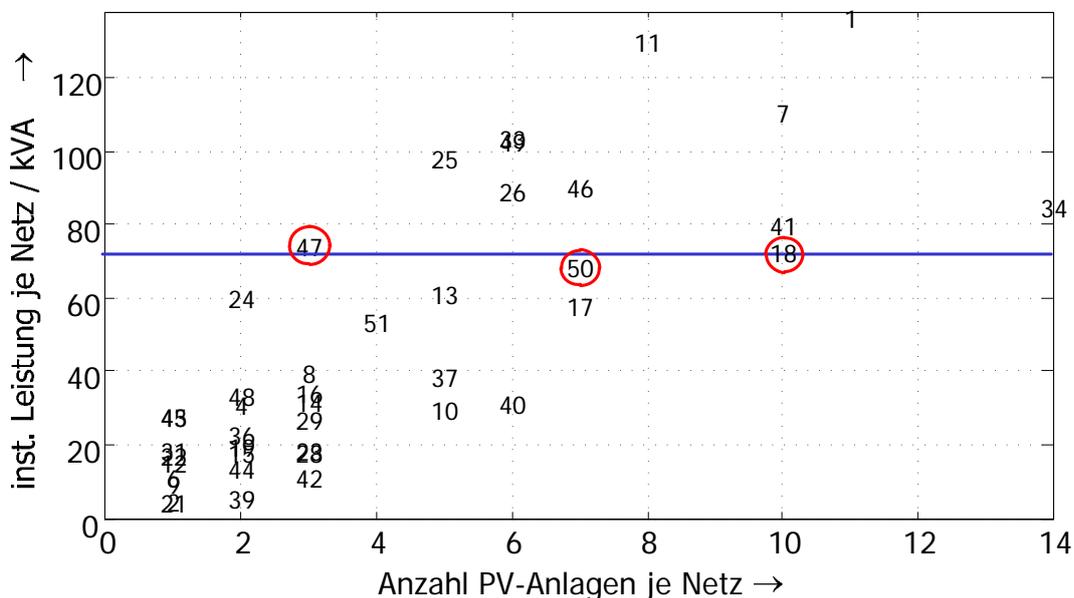


Bild 2: Installierte Leistung der PV-Anlagen gegenüber der Anzahl von PV-Installationen je NS-Netz

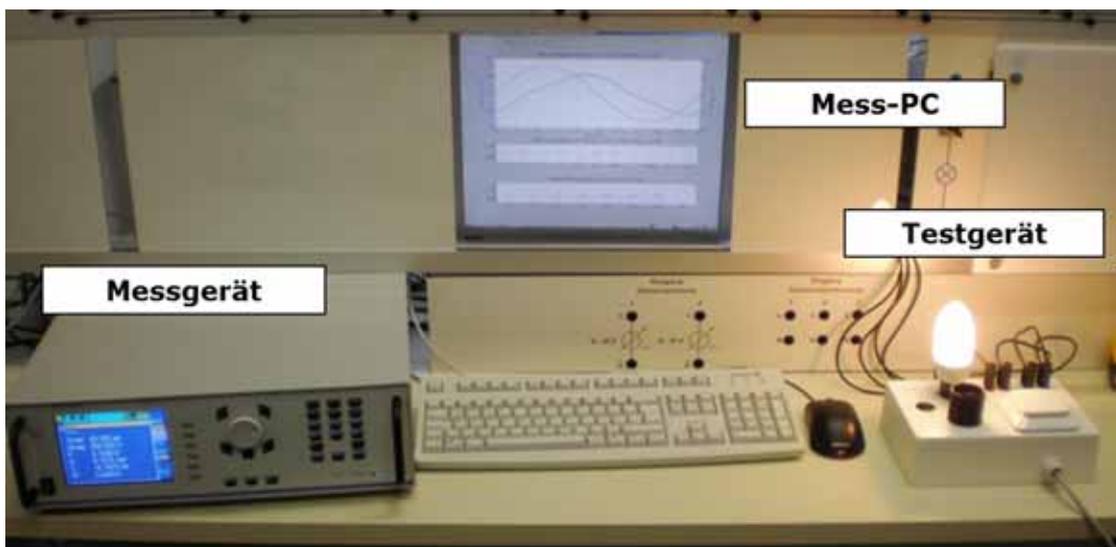


**Jan Meyer, Dr.-Ing.**

### **Messung der Oberschwingungsemissionen von Energiesparlampen**

Der Anteil von Glühlampen am Beleuchtungsmarkt für private Haushalte betrug 2009 ca. 70 %, der Anteil von Energiesparlampen (ESL) ca. 11 %. Das schrittweise Verbot des Einsatzes von Glühlampen führt in zunehmendem Maße zum Einsatz neuer, energiesparender Lampentechnologien, wie Kompaktleuchtstofflampe (KLL) oder LED-Lampe (LED). Glühlampen stellen rein ohmsche Verbraucher dar, welche keine Netzurückwirkungen erzeugen und zur Dämpfung von Oberschwingungen beitragen. Im Gegensatz dazu verfügen die neuen Lampentechnologien in aller Regel über elektronische Vorschaltgeräte, welche das Netz mit zusätzlichen Oberschwingungen belasten und eine Reduktion der Netzdämpfung bewirken.

Im Rahmen verschiedenster Untersuchungen u. a. zur Summation der Oberschwingungen gleicher und unterschiedlicher Geräte, zu den Auswirkungen des Masseneinsatzes von ESL auf das Netz oder für den Entwurf von Simulationsmodellen müssen die Oberschwingungsspektren der Lampen unter definierten Bedingungen gemessen werden. Hierzu wurde am Institut ein entsprechender Prüfplatz entwickelt, mit dem darüber hinaus auch andere Haushaltgeräte mit konstantem Arbeitspunkt gemessen werden können (Bild 1).



*Bild 1: Ansicht des Messplatzes*

Bild 2 zeigt die Zeitverläufe des Stromes für verschiedene Lampentypen bei unverzerrter Spannung (schwarz gestrichelt). Neben einer KLL (23 W) und einer LED (5 W) ist noch eine Leuchtstofflampe mit induktivem Vorschaltgerät (iLL–10 W) gezeigt. Es ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der bezogenen Darstellung die tatsächlichen Relationen der Stromhöhe verloren gehen (LED deutlich geringer als KLL und iLL).

Ein Vergleich der zugehörigen Spektren (Bild 3) zeigt, dass die KLL die höchsten Pegel aufweist. Durch die besondere Kurvenform sollen jedoch gezielt Kompensationseffekte mit anderen Geräten für die 5. Oberschwingung ausgenutzt werden. Außerdem ist die deutliche Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom für LED zu beachten, die einen sehr schlechten Leistungsfaktor ( $\lambda < 0,5$  kap.) bedingt und i. d. R. auf die Verwendung eines Kondensators als Spannungsteiler resultiert.

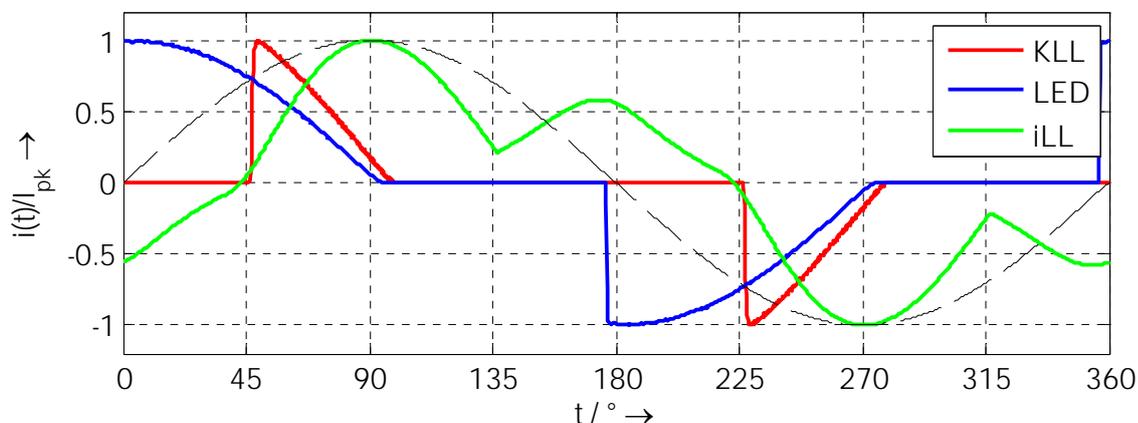


Bild 2: Stromzeitverläufe für die ausgewählten Lampen

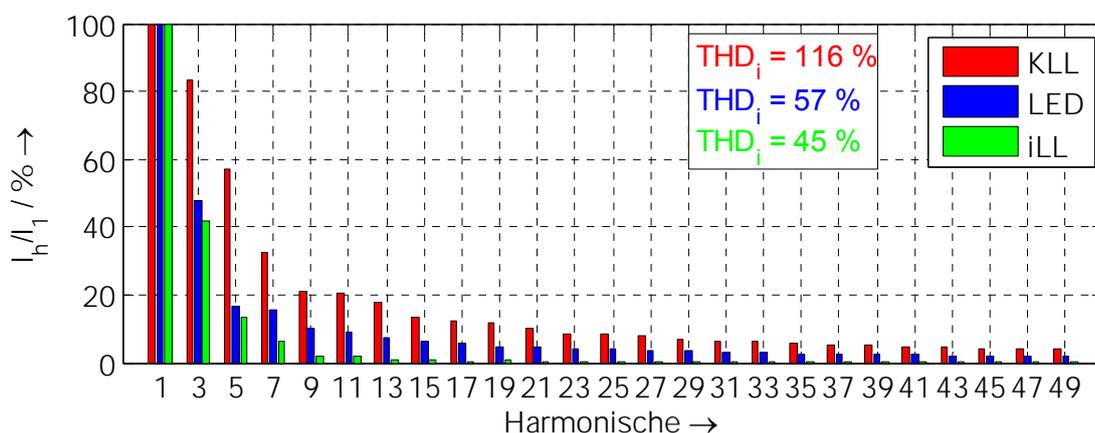


Bild 3: Oberschwingungsspektren der ausgewählten Lampen

Zukünftig ist die Entwicklung einer zentralen Datenbank mit webbasiertem Frontend geplant, die eine Plattform für den Austausch der Messdaten mit anderen Forschergruppen bieten soll.



Jörg Meyer, Dipl.-Ing.

### Einfluss der Spannungsstützung von EEG-Anlagen auf das stationäre und transiente Verhalten des Distanzschutzes bei symmetrischen 3-poligen Fehlern

#### 1. Einleitung

Die Auswirkungen von Zwischeneinspeisungen im Schutzbereich des Distanzschutzes sind bekannt. Bei der Untersuchung wurde der Einfluss spezieller Zwischeneinspeisungen, die nach der geltenden Richtlinie Transmission Code 2007 [1] bzw. der Systemdienstleistungsverordnung Wind [2] arbeiten, untersucht (z. B. große Windparks). Die Anbindung an das Übertragungsnetz wird durch eine Dreibeinleitung realisiert (Bild 1). Distanzschutzrelais übernehmen innerhalb der untersuchten Netztopologie den Leitungsschutz. Der Verbleib der Zwischeneinspeisung am Netz im Fehlerfall und die geforderte Blindstromeinspeisung zur Spannungsstützung verfälschen die eingemessene Impedanz des Distanzschutzes.

#### 2. Netzeinbindung

Für diese Betrachtungen gilt die in Bild 1 dargestellte Netztopologie. Auf der Freileitung tritt ein *impedanzloser dreipoliger Fehler* auf. Die Zwischeneinspeisung (ZWE) führt zu einer Verfälschung der vom Distanzschutz I (Dis I) eingemessenen Fehlerimpedanz.

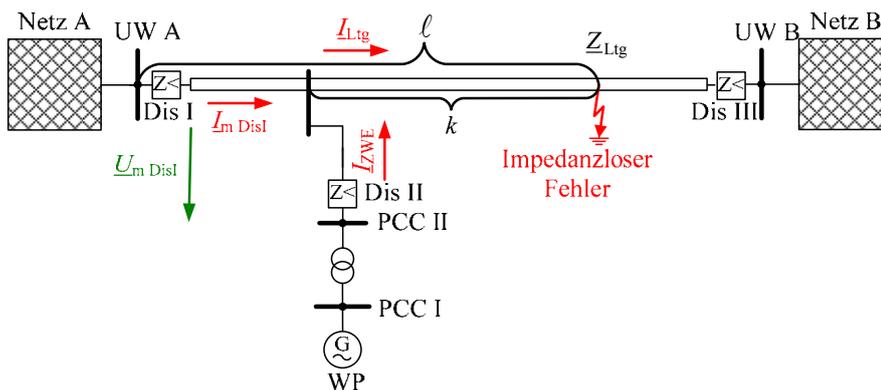


Bild 1: Einfachleitung im Übertragungsnetz mit dreipoligen impedanzlosen Kurzschluss und Zwischeneinspeisung

Es ergibt sich für die eingemessene Impedanz des Distanzschutzes I folgender Zusammenhang:

$$\underline{Z}_{mDisI} = \frac{U_{mDisI}}{I_{mDisI}} = \underline{Z}_{Ltg} \cdot \left( 1 + \frac{k}{\ell} \cdot \frac{I_{ZWE}}{I_{mDisI}} \right) \quad (1)$$

In der Gleichung (1) zeigt sich, dass der Einfluss auf den Dis I maximal ist, wenn die ZWE am Anfang der Leitung einspeist und der Fehler am Ende der Leitung auftritt. Zur weiteren Untersuchung der Impedanzverfälschung wird der Einspeiseort unmittelbar an den Anfang der Freileitung gelegt. Die ZWE hat auf Dis III für die angegebene Topologie und impedanzlosem Fehler keinen Einfluss.

### 3. Dynamische Spannungsstützung

„Die Erzeugungsanlagen (Typ 2) müssen die Netzspannung während eines Spannungseinbruchs mit zusätzlichem Blindstrom stützen.“ [1] Die zusätzliche Blindstromeinspeisung  $\Delta I_B$  muss proportional zum Spannungseinbruch bzw. zur Spannungserhöhung  $\Delta U$  am Netzanschlusspunkt sein. Dabei kann der Anstieg der Blindstrom-Spannungscharakteristik variiert werden. Die Wirkstromeinspeisung der WEA ist ggf. zur Sicherung der Anlagenstabilität abzusenken. Folgende Abbildung zeigt, vergleichend zum unverfälschten Verlauf (ohne ZWE), die vom Leitungsschutz (Dis I) eingemessene Impedanz 150 ms nach Fehlereintritt unter Einfluss der Zwischeneinspeisung für verschiedene Netzimpedanzen.

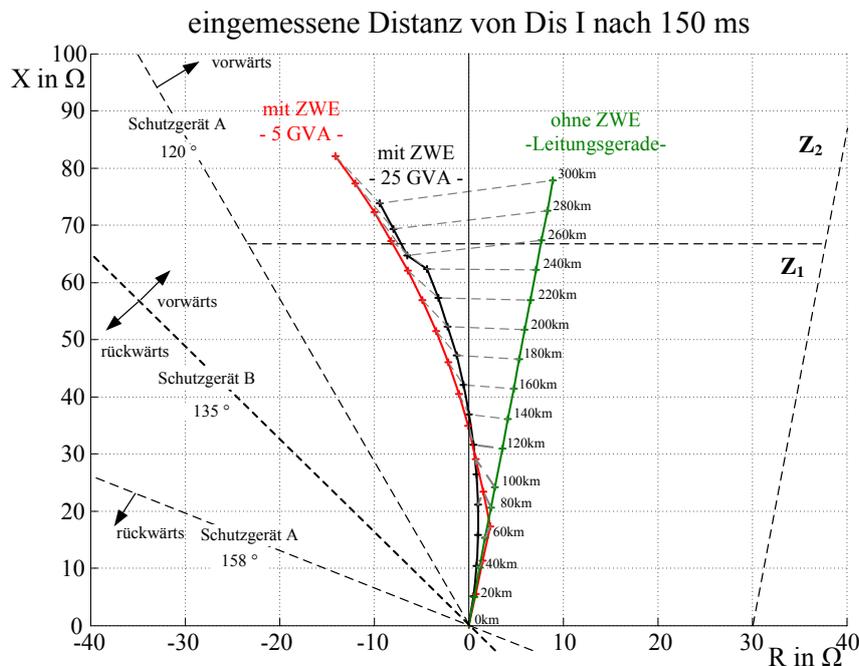


Bild 2: Eingemessene Impedanz von Dis I – 150 ms nach Fehlereintritt



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

### Identifikation von Leitungsparametern aus Stördatenaufzeichnungen mittels Signalmodellierung

Aus Stördatenaufzeichnungen können in einer nachträglichen Analyse Informationen über Betriebsmittel gewonnen werden. Stördaten einer fehlerfreien Freileitung lassen sich bspw. für eine Identifikation von Leitungsparametern nutzen, wenn sie von einem Fehlerstrom durchflossen wird. Bisher kam dafür ein Verfahren basierend auf zeitveränderlichen Zeigern zur Anwendung. Diese Frequenzbereichsmethode hat einige Nachteile, welche sich durch Modellierung der Signale des Fehlersegmentes einer Stördatenaufzeichnung im Zeitbereich überwinden lassen.

#### Modell der Freileitung

Grundlage jeder Parameteridentifikation ist ein Systemmodell. Zur Beschreibung einer Freileitung können Modelle mit verteilten und konzentrierten Parametern genutzt werden. Zu letzteren zählen Impedanz- und Admittanzmodelle, welche aufgrund ihrer Einfachheit als Grundlage der Leitungsparameteridentifikation dienen sollen (Bild 1).

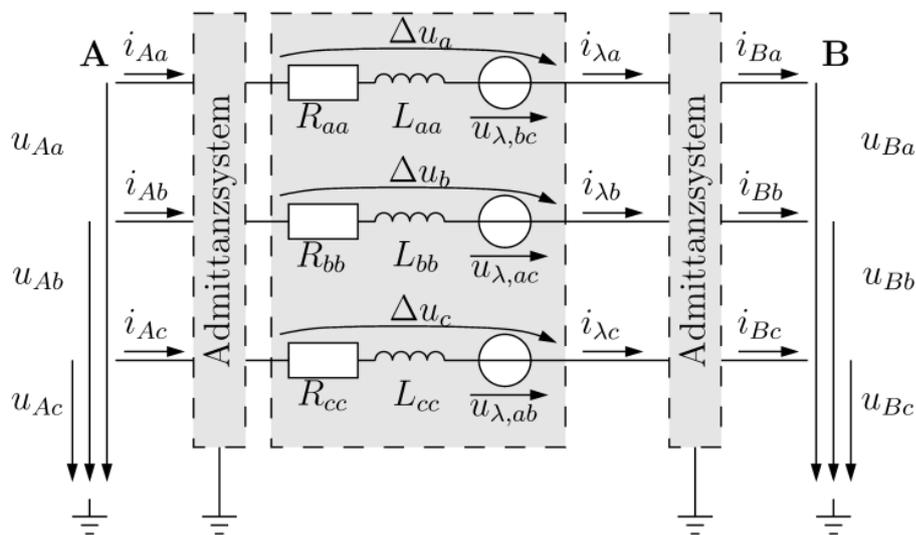


Bild 1: Freileitungsmodell aus drei gekoppelten  $\pi$ -Gliedern

Ziel der Identifikation ist die Bestimmung der Parameter des Impedanzsystems in Bild 1. Dazu werden die Spannungsabfälle entlang der Leitung sowie die Längsströme ausgewertet und mit den gesuchten Parametern in einer Schätzgleichung in Beziehung gesetzt. Zum Besetzen der Schätzgleichung werden die Messungen mithilfe von Signalmodellen dargestellt.

*Signalmodellierung mithilfe der Prony-Methode*

Kurzschluss-signale, die für eine Identifikation anwendbar sind, lassen sich im Allgemeinen als Lösungen von Differentialgleichungen, d. h. als Summen von gedämpften Schwingungen, darstellen. Durch Analyse der Abtastwerte des Fehlersegments einer Stördatenaufzeichnung können die Parameter der Signalmodelle mithilfe der Prony-Methode ermittelt werden. Die Berechnung des absoluten Fehlers erlaubt eine direkte Verifizierung des identifizierten Signalmodells; eine Anpassung der Modellordnung und des Analysefensters ist somit möglich. Damit sind die Fehlersegmente in symbolischer Form beschrieben, was eine exakte Berechnung der Zeitableitungen ermöglicht. Zur Berechnung des Längsspannungsabfalls des Leiters a ergibt sich bspw.:

$$\Delta u_a = \left( i_a \quad \frac{d}{dt} i_a \quad i_b \quad \frac{d}{dt} i_b \quad i_c \quad \frac{d}{dt} i_c \right) (R_{aa} \quad L_{aa} \quad R_{ab} \quad L_{ab} \quad R_{ac} \quad L_{ac})^T$$

*Identifikationsergebnisse*

Das Verfahren wird mithilfe eines Simulationsmodells in Matlab/Simulink auf die Abhängigkeit von der gewählten Signalmodellordnung und dem Abstand  $\Delta t$  des Auswertefensterstartpunktes vom Kurzschlussereigniszeitpunkt untersucht.

Für die identifizierten Induktivitäten ergeben sich beispielhaft für einen Fehler Leiter a-Erde die Ergebnisse in Bild 2. Ist die Modellordnung zu klein (z. B.  $m=3$ ) werden die Parameter ungenau geschätzt. In diesem Bsp. ist  $m=7$  günstig; für größere Werte treten numerische Probleme beim Bestimmen des Signalmodells auf und führen zu Fehlern in den Parametern. Weiterhin ist erkennbar, dass bei Start des Auswertefensters nahe dem Fehlerereigniszeitpunkt große Fehler auftreten, da transiente Erscheinungen mit dem angenommenen Signalmodell nicht beschreibbar sind.

Nutzt man mehrere Stördatenaufzeichnungen, so kann man mithilfe statistischer Auswertemethoden die Sicherheit der identifizierten Parameter erhöhen, was in folgenden Arbeiten zu untersuchen ist.

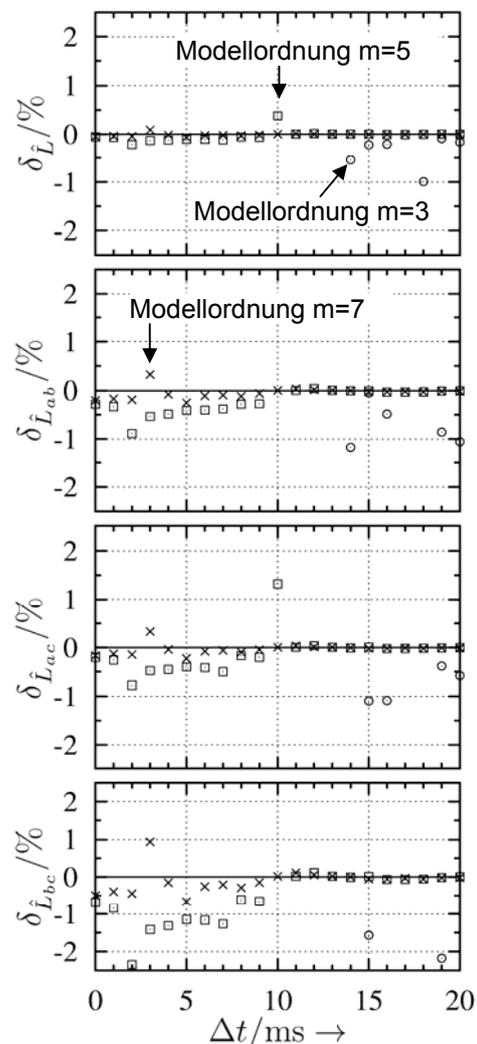


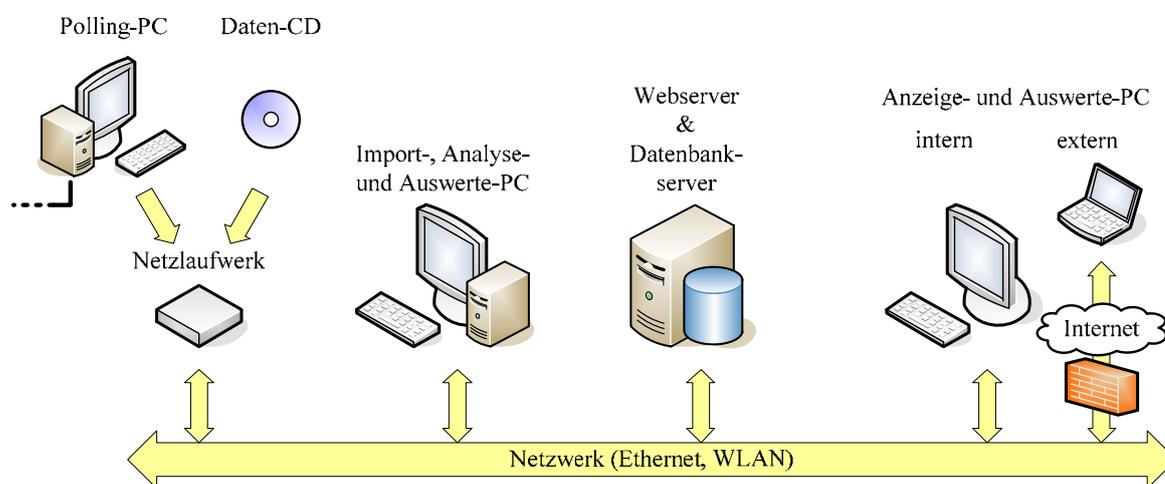
Bild 2: Identifizierte Reaktanzen



**Philipp Stachel, Dipl.-Ing.**

### **Automatisierte Auswertung und Archivierung von Stördatenaufzeichnungen**

Die automatisierte Auswertung von Stördatenaufzeichnungen von digitalen Schutzgeräten und Störschreibern im COMTRADE-Format beschleunigt den Prozess der Störungsaufklärung in elektrischen Energieversorgungsnetzen (insb. Übertragungsnetze). Ein mögliches Konzept ist in Bild 1 dargestellt.



*Bild 1: Konzept der automatisierten Stördatenabfrage, Analyse, Archivierung und Auswertung sowie der Visualisierung*

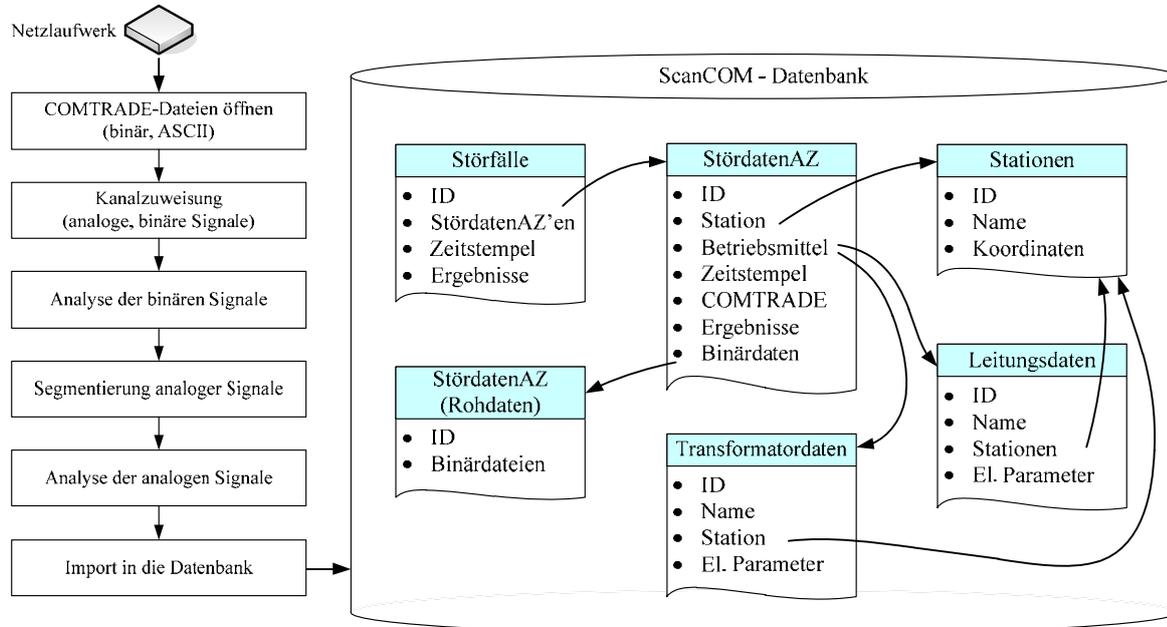
Ein Polling-PC erfasst zyklisch neue Stördatenaufzeichnungen der an die Leittechnik angeschlossenen Stationen oder Geräte mit herstellerspezifischen Programmen über genormte Schnittstellen (FTP, IEC 870-5-103 bzw. zukünftig IEC 61850). Die Aufzeichnungen werden auf einem Netzlaufwerk zwischengespeichert. Alternativ können manuell ausgelesene oder auch ältere Stördatenaufzeichnungen über portable Datenträger (CD, Diskette, o. a.) auf das Netzlaufwerk kopiert werden.

Die zentrale Analysesoftware befindet sich auf einem leistungsfähigen Rechner mit Netzwerkzugang. Dieser übernimmt gleichzeitig die Funktion des Datenimports zu einem Datenbankserver. Befinden sich neue Stördatenaufzeichnungen auf dem Netzlaufwerk, so werden diese automatisch geladen, analysiert und ausgewertet. Zur komfortablen Darstellung der Ergebnisse sowie zur Filterung der Aufzeichnungen ohne eine spezielle Software ist ein Webserver geeignet.

Das am IEEH entstandene System (ScanCOM) zur Auswertung und Archivierung von Stördatenaufzeichnungen besteht aus:

- einem Datenbank- und Webserver,
- einem Netzlaufwerk sowie
- einem Import-, Analyse- und Auswerte-PC.

Der Ablauf des Datenimports sowie die Struktur der Tabellen der Datenbank (MySQL) sind in Bild 2 dargestellt.



**Bild 2:** Ablauf des Datenimports und Aufbau der Datenbank

Die Datenbank enthält zurzeit 4400 Störfälle mit mindestens zwei Aufzeichnungen, 69000 Stördatenaufzeichnungen aus acht Jahren, 95 Stationen, 160 Leitungen und etwa 100 Transformatoren eines deutschen Übertragungsnetzes.

Die gesamte Import- und Analysesoftware mit grafischer Benutzeroberfläche sind in Matlab programmiert. Die folgenden Analysefunktionen sind zurzeit realisiert:

- Ermittlung der Fehlerart aus Binär- und Analogsignalen,
- Einseitige Fehlerortungen,
- Berechnung der Netzzeitkonstante bzw. Gleichstromzeitkonstante,
- Korrektur der Sekundärströme gesättigter Stromwandler,
- Bewertung einer automatischen Wiedereinschaltung,
- Bewertung der Binärsignale in Aufzeichnungen (Reaktionen des Haupt- und Reserveschutzes),
- Sichten und Filterung der Aufzeichnungen der Datenbank,
- Visualisierung der Zeitverläufe und Raumzeiger der Analogsignale,
- Zeit-Frequenz-Darstellungen (Spektrogramm, Scalogramm),
- Segmentgrenzen und Güte der Segmentierung.

Eine Weiterentwicklung des Konzeptes in Richtung der webbasierten Darstellung der Zeitreihen und Ergebnisse der Auswertungen sind angedacht.

## **Forschung**

---

### **Diplomarbeiten**

Zeise, Stefan

Einfluss von Windenergieanlagen auf das Verhalten des Netzschutzes  
DA 06/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

Krumme, Olaf

Untersuchung von Kurzschlussleistung und Netzimpedanz in öffentlichen Niederspannungsnetzen  
DA 08/2009 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer / Dr.-Ing. Henze)

Heß, Tobias

Grundlagen der gekoppelten dynamischen Modellierung der elektrischen und thermischen Prozesse von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen  
DA 11/2009 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. P. Schegner / Dipl.-Ing. Ph. Stachel)

Stiegler, Robert

Entwicklung einer Laboranordnung zur Verifikation der Genauigkeit von Elektroenergiequalitäts-Messgeräten entsprechend IEC 6100-4-30  
DA 12/2009 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Köhler, Lothar

Verhalten von Windenergieanlagen bei unsymmetrischen Fehlern und ihr Einfluss auf den Netzschutz  
DA 01/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

### **Studienarbeiten**

Walter, Christoph

Lastmodellierung von Haushaltskunden für die Niederspannungsnetzplanung  
SA 03/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Dickert)

Schöttke, Stefan

Modellierung der Oberschwingungsemission moderner Leuchtmittel mit elektronischem Vorschaltgerät  
SA 13/2009 (Betreuer: Dr.-Ing. J. Meyer)

Smarczewski, Kay

Implementierung von Algorithmen zur Online-Analyse von Messdaten  
SA 02/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schulze)

Werner, Jens

Einfluss der dynamischen Spannungsstützung von Erzeugungsanlagen auf das Schutzkonzept in Mittelspannungsnetzen

SA 04/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. J. Meyer)

### Vorträge

Meyer, Jan

- Beurteilung der Oberschwingungsemission in 110-kV-Verteilungsnetzen (Erweiterung der „Technischen Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen“ auf 110-kV-Verteilungsnetze)
- Untersuchung der Oberschwingungsemission moderner Lampentechnologien für den Hausgebrauch
- Systematisierte Untersuchung des frequenzabhängigen Übertragungsverhaltens von Spannungswandlern

PQ-Vertiefungsseminar, Mannheim, 03.03.2010

Henze, Christian

Freileitungsidentifikation auf der Basis von Messwerten der elektrischen Feldstärke – Schutzkonzept für mobile Arbeitsmaschinen

EMV 2010, Düsseldorf, 10.03.2010

Bauer, Hartmut

Störgrößenanalyse als Basis zuverlässiger Selektivschutz- und Stationsleittechnik nach IEC 61850

EMV 2010, Düsseldorf, 11.03.2010

Domagk, Max

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

„11. Dresdner Kreis 2010“, Magdeburg, 29./30.03.2010

Henze, Christian

Methoden zur Freileitungsidentifikation auf Basis von Messwerten der elektrischen Feldstärke

„11. Dresdner Kreis 2010“, Magdeburg, 29./30.03.2010

Meyer, Jan

Oberschwingungsemission moderner Lampentechnologien für den Hausgebrauch

DEWETRON-Anwendertagung, Berlin, 10.05.2010

## **Forschung**

---

Schulze, Roberto; Schegner, Peter  
Two-Terminal Fault Location on Unsymmetrical Transmission Lines  
IEEE PES General Meeting 2010, Minneapolis/USA, 25.-29.07.2010

Meyer, Jan  
Entwurfskriterien für Monitoringsysteme der Spannungsqualität  
Fachtagung „Spannungsqualität in der Praxis“, Luzern/Schweiz, 16.09.2010

Dickert, Jörg  
Residential Load Models for Network Planning Purposes  
MEPS'10 Symposium, Breslau/Polen, 20.09.2010

Stachel, Philipp  
Estimation of DC time constants in fault currents and their relation to Thévenin's impedance  
MEPS'10 Symposium, Breslau/Polen, 21.09.2010

Klatt, Matthias; Meyer, Jan  
Frequency Responses of MV voltage transformers in the range of 50 Hz to 10 kHz  
International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)  
Bergamo/Italien, 26.-29.09.2010

Schulze, Roberto; Stachel, Philipp  
Automatisierte Auswertung von Stördatenaufzeichnungen und deren Anwendung zur Parameteridentifikation und Fehlerortung  
Industriepartner-Symposium, TU Dresden, Dresden, 30.09.2010

Dickert, Jörg; Heß, Tobias  
Probabilistische Lastmodellierung zur Untersuchung des Betriebsverhaltens von Smart Grids  
Industriepartner-Symposium, TU Dresden, Dresden, 30.09.2010

Meyer, Jan; Gasch, Etienne  
Effiziente Verfahren zur Bewertung der Spannungsqualität in Verteilungsnetzen  
Industriepartner-Symposium, TU Dresden, Dresden, 30.09.2010

Dickert, Jörg  
Sternpunktbehandlung und Erdung in Kabelnetzen  
76. Kabelseminar, Hannover, 14.10.2010

Bauer, Hartmut  
Isolationskoordination und Überspannungsschutz  
Fachveranstaltung „Hochspannungs-Schaltanlagen“, Essen, 27.10.2010

## Veröffentlichungen

Henze, C.; Bauer, H.:

Freileitungsidentifikation auf der Basis von Messwerten der elektrischen Feldstärke – Schutzkonzept für mobile Arbeitsmaschinen

EMV 2010, Düsseldorf, 09.-11.03.2010, Tagungsband, S. 441-448

(ISBN 978-3-8007-3206-7)

Bauer, H.:

Störgrößenanalyse als Basis zuverlässiger Selektivschutz- und Stationsleittechnik nach IEC 61850

EMV 2010, Düsseldorf, 09.-11.03.2010, Tagungsband, S. 543-550

Rückerl, C.; Eichhorn, K.-F.; Bauer, H.:

Die Trennung überlagerter Magnetfelder zur quellenorientierten Bewertung niederfrequenter Feldpositionen

EMV 2010, Düsseldorf, 09.-11.03.2010, Tagungsband, S. 703-710

Schulze, R.; Schegner, P.:

Identifikation von Parametern unsymmetrischer Freileitungen anhand von Stördaten

FNN/ETG-Tutorial Schutz- und Leittechnik 2010, Ulm, 09.-10.06.2010

Schulze, R.; Schegner, P.:

Two-Terminal Fault Location on Unsymmetrical Transmission Lines

IEEE PES General Meeting 2010, Minneapolis/USA, 25.-29.07.2010

Dickert, J.; Schegner, P.:

Residential Load Models for Network Planning Purposes

MEPS'10 Symposium, Breslau/Polen, 20.-22.09.2010

Stachel, P.; Schegner, P.:

Estimation of DC time constants in fault currents and their relation to Thévenin's impedance

MEPS'10 Symposium, Breslau/Polen, 20.-22.09.2010

Klatt, M.; Meyer, J.; Elst, M.; Schegner, P.:

Frequency Responses of MV voltage transformers in the range of 50 Hz to 10 kHz

International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)

Bergamo/Italien, 26.-29.09.2010

## **Forschung**

---

Bauer, H.:

Isolationskoordination und Überspannungsschutz

Fachveranstaltung „Hochspannungs-Schaltanlagen“, Essen, 26.-27.10.2010,  
Tagungsband

Meyer, J.; Gasch, E.; Darda, Th.:

Messgeräteunabhängige Bewertung der Spannungsqualität – Entwurf und  
Realisierung eines automatisierten Systems

Bulletin 8/2010 – Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von electro-  
suisse und VSE/AES - Schweiz

Ammeter, U.; Hanzlik, J.; Meyer, J.; Zierlinger, J.:

Avaliacao dos niveis de emissao de instalacoes perturbadoras

Zeitschrift: EM – Eletricidade Moderna, Aranda editora ano 38 No. 438,  
Setembro 2010

### Hochspannungstechnik

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

- *Belastung von Isolierungen mit impulsförmigen und 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.

### 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 Elektroenergie-technik 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.

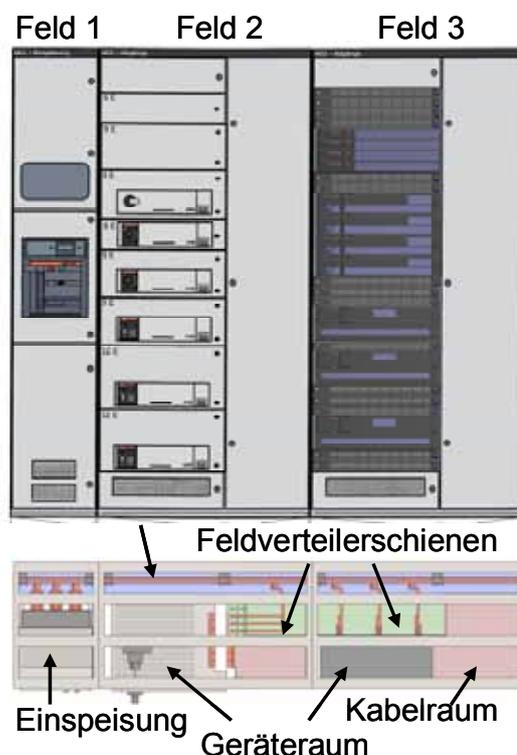
Die nachfolgenden Beiträge geben eine Übersicht über die wichtigsten derzeit laufenden Arbeiten.



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

### **Aufbau eines Versuchsstandes zur normgerechten Prüfung der Erwärmung von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen (NS-SK)**

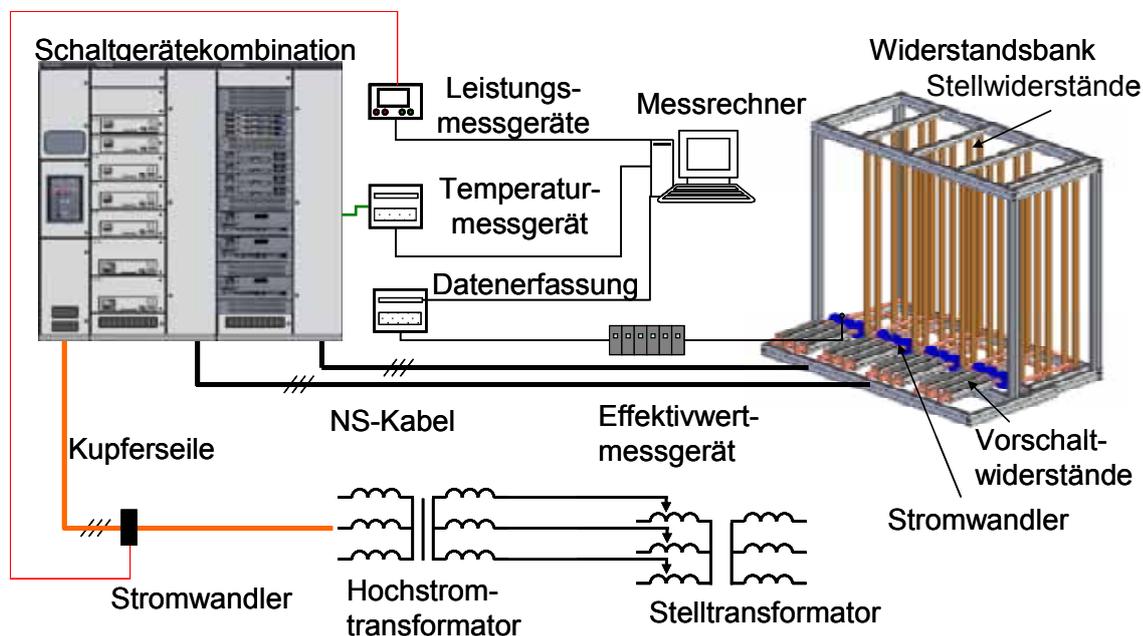
Für die Verifizierung der Wärmenetze zur Berechnung der Erwärmung von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen müssen umfangreiche thermische Untersuchungen an einer Musterschaltanlage durchgeführt werden. Dafür wurde ein Versuchsstand entwickelt und aufgebaut, mit dem die Erwärmung von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen entsprechend den geltenden Normen (DIN EN 60439-1, DIN EN 61439-1) geprüft werden kann. Die Musterschaltanlage besteht aus drei Schaltfeldern. Im Feld 1 befindet sich der Leistungsschalter für die Einspeisung des Bemessungsstromes der Anlage von  $I_r = 2000 \text{ A}$ . Die drei Schaltfelder sind im rückwärtigen Teil der Anlage über die Sammelschiene ( $I_r = 2000 \text{ A}$ ) miteinander verbunden. An den beiden Feldverteilerschienen ( $I_r = 1000 \text{ A}$ ) befinden sich die Schaltgeräte der insgesamt 17 Abgänge. Die Abgänge der Felder 2 und 3 bestehen aus NS-Leistungs- und Lasttrennschaltern mit Sicherungen für Bemessungsströme von  $I_r = 63 \text{ A}$  bis  $I_r = 630 \text{ A}$ . Bei einer normgerechten Prüfung der Erwärmung einer NS-SK muss die thermisch ungünstigste Anordnung ausgewählt und die Schaltgeräte entsprechend ihrer Bemessungsströme und Bemessungsbelastungsfaktoren belastet werden. Wird die NS-SK durch eine einzige Stromquelle gespeist, stellen sich die Ströme abhängig von den Impedanzen in der Anlage ein. Diese Stromverteilung stimmt i. d. R. nicht mit den geforderten Belastungsströmen der einzelnen Abgänge überein und muss deshalb durch zusätzliche Bauelemente eingestellt werden. Dafür wurden Widerstandsbänke mit verstellbaren Lastwiderständen entwickelt. Auf einer Widerstandsbank befinden sich für jeden Abgang drei separate Lastwiderstände,



*Bild 1: Musterschaltanlage*

die an ihren Enden zu einem Sternpunkt verbunden sind. Die einzelnen Lastwiderstände setzen sich aus den Vorschaltwiderständen und den Stellwiderständen zusammen. Die Vorschaltwiderstände bestehen aus bis zu 12 parallel geschalteten 3 mm x 10 mm Edelstahlschienen. Damit können stufenweise Widerstände von 0,8 mΩ bis 9,5 mΩ realisiert werden. Die Stellwiderstände bestehen jeweils aus zwei 1,5 m langen Bronzeschienen. Sie sind in einem Bereich von 0,01 mΩ bis 0,8 mΩ stufenlos stellbar.

Die Lastwiderstände sind durch 5 m lange Niederspannungskabel mit den Abgängen der Schaltanlage verbunden. Das Einspeisefeld der Schaltanlage ist über Kupferseile oder Kupferschienen an einen Hochstromtransformator angeschlossen. Über nur einen Stelltransformator wird der Belastungsstrom in die gesamte Anlage eingespeist.



*Bild 2: Schematische Darstellung eines Versuchsstandes zur normgerechten Prüfung von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen*

Zum Messen der in der Anlage fließenden Ströme werden Stromwandler zusammen mit Leistungsmessgeräten oder Echt-Effektivwertmessgeräten verwendet. Die Temperaturen werden mit NiCr-Ni-Thermoelementen gemessen, die in den Strombahnen, an den Umhüllungen, in den Innenräumen und außerhalb der Schaltanlage angebracht sind. Das Leistungsmessgerät, die Datenerfassungsgeräte und die Temperaturmessgeräte sind mit einem Messrechner verbunden. Alle Belastungsströme und Temperaturen werden kontinuierlich und zeitgleich mit einem Messprogramm aufgezeichnet. Ausgewählte Messstellen der Temperatur- oder Stromverläufe werden dargestellt.



**Karsten Backhaus, Dipl.-Ing.**

**Elektrisches Verhalten von Öl- bzw. Öl-/Papier-Isolierungen unter hoher Gleichspannung**

Durch den Einsatz der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) wird dem Ziel der Übertragung elektrischer Leistung größer 1000 MVA über Strecken länger als 600 km begegnet. So wurden in China bereits 800-kV-Trassen als Stand der Technik etabliert. Die Kopplung der erdfreien Schubwicklungen der HGÜ-Transformatoren mit den Pulsbrücken der Gleichrichter bewirkt im Sekundärteil der Transformatoren eine Gleichspannungsbelastung mit Wechselanteil.

Bei Wechselspannungsbelastung teilen sich im Mischdielektrikum einer Öl-Papier-Isolierung Spannung bzw. Feldstärke gemäß den kapazitiven Bedingungen auf. Das hierfür verantwortliche Verhältnis der Dielektrizitätszahlen bleibt für die Bedingungen im Transformator mit 2 : 4 nahezu konstant. Bei Gleichspannungsbelastung steuert hingegen das Leitfähigkeitsverhältnis. Dieses ist für Normprüfungen mit 100 : 1 anzunehmen. Abhängig von Temperatur, Feldstärke oder Wassergehalt kann es sich über mehrere Potenzen bis hin zu 1 : 1 verändern.

Beispielhaft soll der Einfluss der Spannungsart auf die Durchschlagsfestigkeit eines Öl-Papier-Spaltes anhand eines mit 0,3 mm Papier isolierten Drahts gegenüber einer geerdeten Platte erläutert werden (Bild 1).

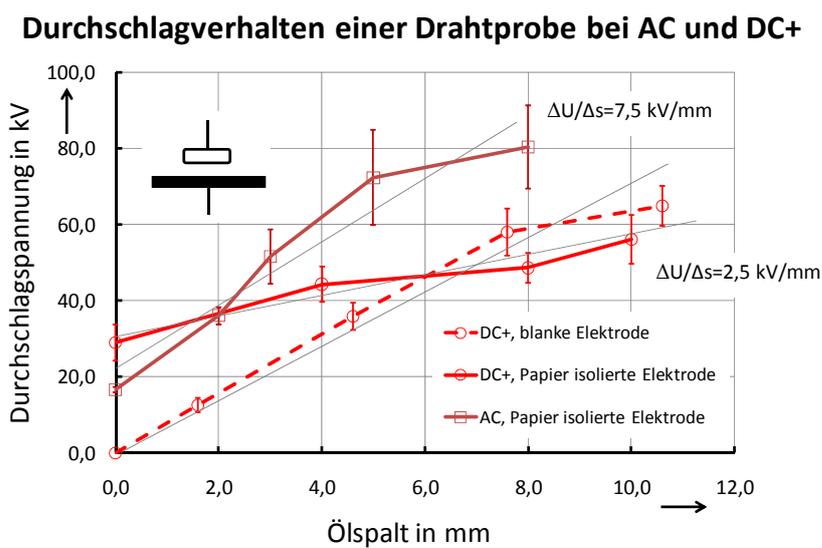


Bild 1: Durchschlagverhalten einer Drahtprobe bei AC und DC+

Für beide Spannungsarten konnte zunächst eine Grundfestigkeit der Papierschicht bei einer Ölspaltbreite von 0 mm ermittelt werden. Da im Falle der Wechselfeldspannung ein Großteil der Spannung über dem Ölspalt abfällt, bestimmt dieser auch die Steigerung der Festigkeit der gesamten Isolierstrecke. Der Gradient der Ud-s-Kennlinie ist daher mit der blanken Elektrodenanordnung vergleichbar.

Im Fall der Gleichspannung konzentriert sich die Feldstärke hauptsächlich im Feststoff und es ergibt sich über der Ölstrecke eine nur sehr geringe Potentialdifferenz. Ein Durchschlag des Feststoffs führt ein Mitreißen der Ölstrecke mit sich. Die Ölisolierstrecke besitzt daher nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtfestigkeit.

Begründet durch die hohe Festigkeit der Papierisolierung, welche in weiteren Versuchen bestimmt wurde, wird die Querbeanspruchung geschichteter Dielektrika unter Gleichspannung als unkritisch eingeschätzt.

Daher stellt sich die Frage, unter welchen Bedingungen das Isolieröl mit seiner geringen Festigkeit hoch beansprucht wird. Die Längsbeanspruchung der Öl-Feststoff-Grenzschicht und freie Kanten der Barrieren im Öl-Medium können dies ermöglichen. Letztere rufen aufgrund des hohen Leitfähigkeitsverhältnisses hohe Feldstärken als „dielektrische Ecke“ im Öl hervor und sollen daher Gegenstand weiterer Forschung sein.

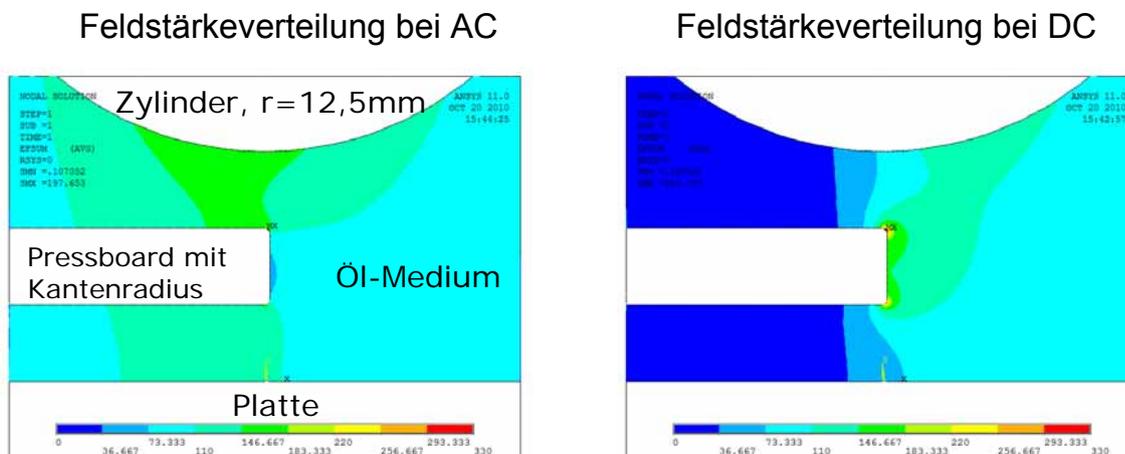


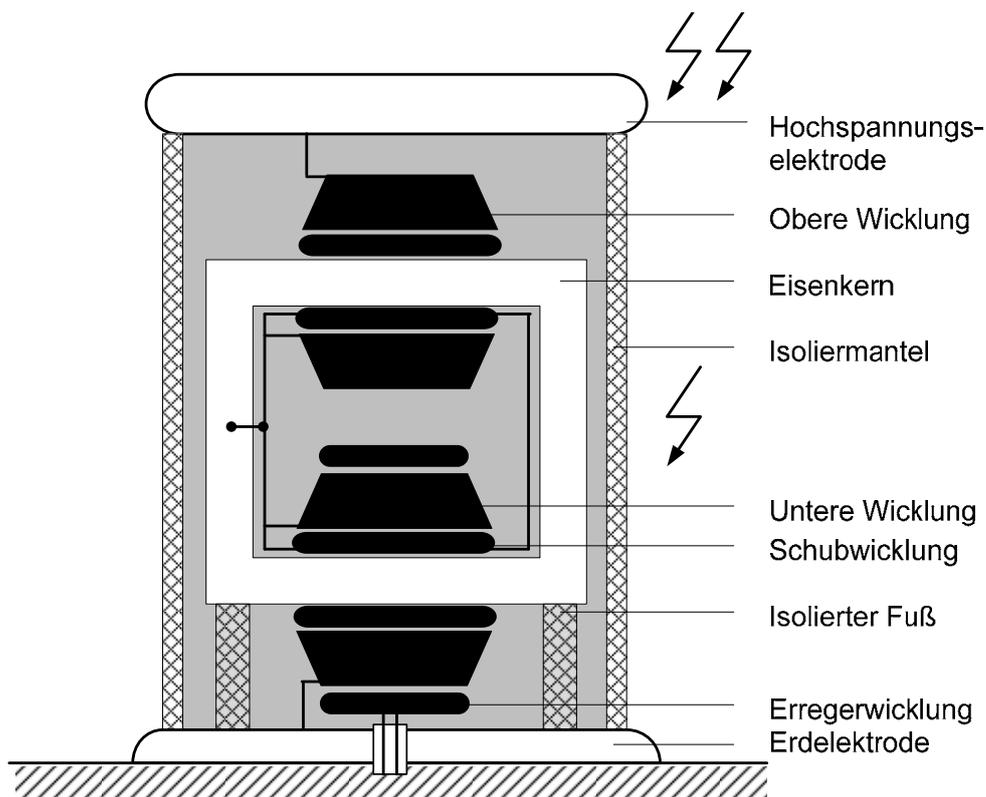
Bild 2: FEM-Modell, Ansys, Boarddicke und Einzelschlagweiten: 3 mm, genormte Potentialdifferenz: 1 V, Feldstärkeverteilung mit gleicher Skale



**Melanie Conrad, Dipl.-Ing.**

### **Untersuchungen zur Erwärmung von horizontalen Ölkühlkanälen an Hochspannungsprüftransformatoren**

Hochspannungsprüftransformatoren und -drosseln werden für Prüfungen mit immer größerer Prüfdauer, z. B. bei Kabelprüfungen bis zu einem Jahr, und höheren Leistungen eingesetzt. Bisher werden die Transformatoren nach dem Kurzzeitbetrieb dimensioniert. Für die veränderten Anforderungen ist es unerlässlich, die Erwärmung der in ONAN betriebenen Geräte zu berechnen und auf Zulässigkeit anhand der in der Norm festgelegten Grenzwerte [1] zu überprüfen. Aus funktionsbedingten Gründen werden in verschiedenen Bauarten dieser Geräte auch waagerechte Lagenwicklungen (Bild 1) verwendet, die horizontale oder leicht geneigte Kühlkanäle bedingen.



*Bild 1: Hochspannungsprüftransformator in Isolierrmantelbauweise mit Eisenkern auf halbem Hochspannungspotential*

Der Wärmetransport von den Heißstellen der stromdurchflossenen Windungen an den kühlenden Ölstrom findet dabei durch Konvektion in den Kühl-

kanälen statt. Ein Maß für die Güte des konvektiven Wärmeüberganges ist der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_K$ . Dieser beinhaltet die Abhängigkeit des konvektiven Wärmeüberganges von der Strömungsgeschwindigkeit des Fluids, der Geometrie des um- oder durchströmten Körpers und der Temperaturdifferenz. Der Wärmeübergangskoeffizient wird üblicherweise experimentell bestimmt. Aus den Messungen wird mit Hilfe der Ähnlichkeitstheorie [2] zunächst die Nusseltzahl und deren Parameter  $c$  und  $n$  nach der kriteriellen Gleichung der freien Konvektion (Gl. (1)) ermittelt. Sind diese Parameter bekannt, kann eine allgemeine Berechnung des Wärmeübergangs erfolgen.

$$Nu = c \cdot (Gr Pr)^n = \frac{\alpha_K \cdot l_W}{\lambda_F} \quad (1)$$

Anhand von Modellen wird das charakteristische Strömungsverhalten zunächst in einem einfachen, waagerechten Ölkanal analysiert. Untersucht wird außerdem der Einfluss der Geometrieparameter Breite, Höhe, Länge und einem geringen Neigungswinkel des Kanals auf die durch das Öl abtransportierte Wärmeleistung. Erste Experimente (Bild 2) zeigen, dass ein größerer Neigungswinkel der Ölkanäle eine Verbesserung des Wärmeübergangs durch die Erhöhung der treibenden Druckdifferenz zwischen Öleintritt und Ölaustritt hervorruft.

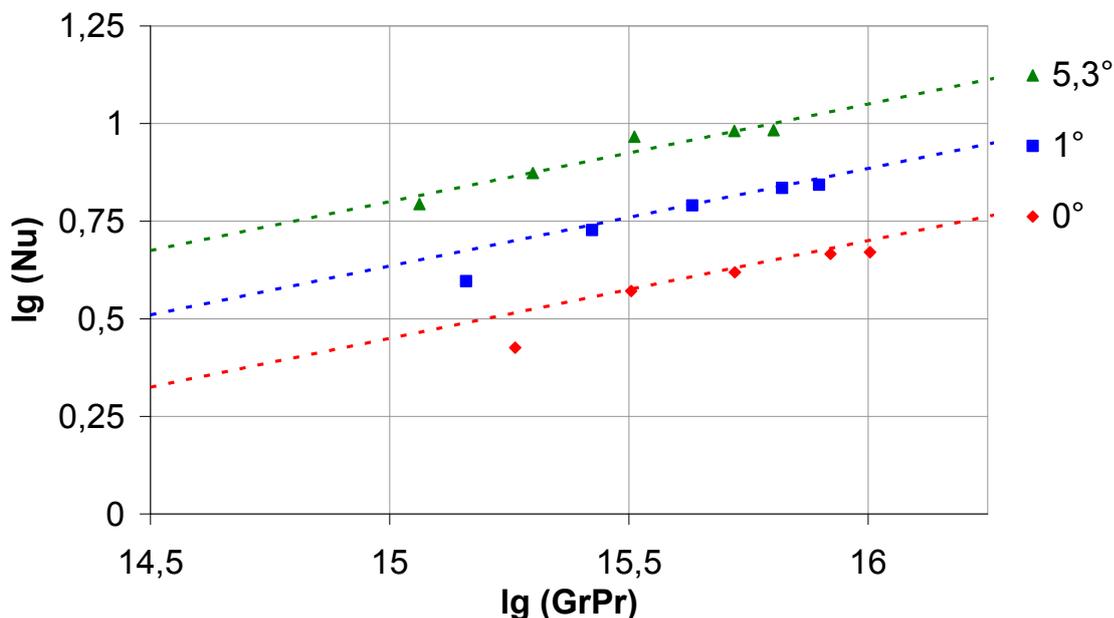


Bild 2: Nusseltzahlen bestimmt für einen Modellkanal bei verschiedenen Neigungswinkeln und Grashof-Prandtl-Werten zur Ermittlung der Parameter der kriteriellen Gleichung

- [1] EN 60076-2 (DIN VDE 0532 Teil 102): Leistungstransformatoren – Übertemperaturen, 1997
- [2] Michejew: Grundlagen der Wärmeübertragung, Verlag Technik Berlin, 1964



**Benjamin Kaufmann, Dipl.-Ing.**

**Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Ermittlung von Ähnlichkeitsfunktionen beliebiger Anordnungen mittels numerischer Methoden**

Die thermische Beschreibung von Betriebsmitteln der Elektroenergietechnik mit der Wärmenetzmethode erfordert unter anderem die Kenntnis der Intensität des konvektiven Wärmeübergangs. Je nach Geometrie und Turbulenzgrad existieren hierfür unterschiedliche empirische und analytische Berechnungsgleichungen.

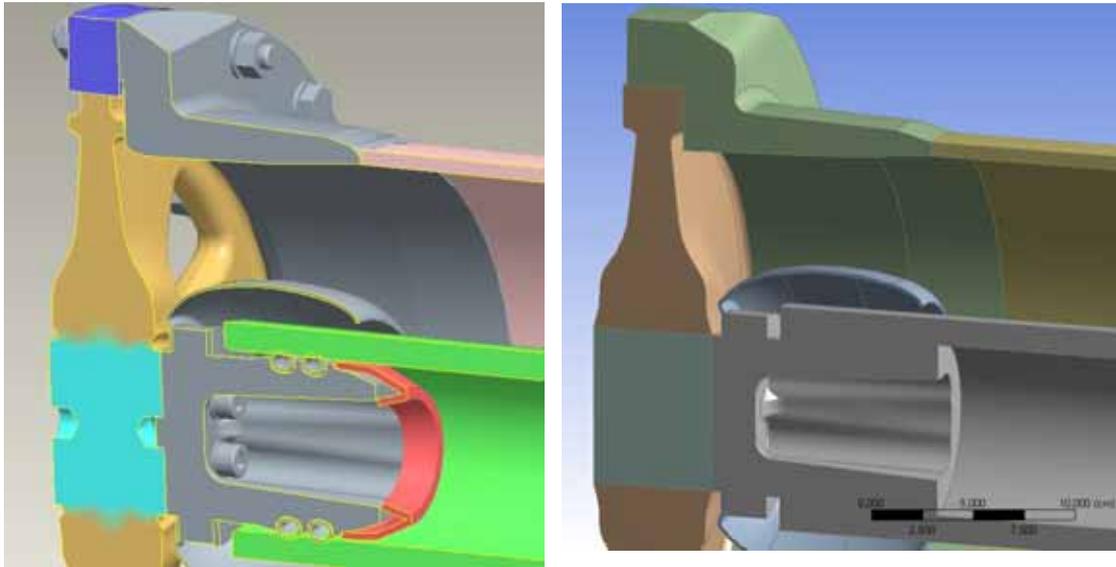
Für typische Anordnungen in gasisolierten Schaltanlagen stellen die bekannten Berechnungsgleichungen lediglich Näherungen dar. Zusätzlich erfordert das manuelle Erstellen von Wärmenetzen für jeden Knoten mit konvektivem Wärmeübergang eine Entscheidung über die anzuwendende Berechnungsgleichung. Ziel dieser Arbeit ist daher die Standardisierung des Berechnungsverfahrens. Auf diese Weise lässt sich die Parameterbestimmung für den Entwickler vereinfachen und weitgehend automatisieren und somit der Arbeitsaufwand bei der Erstellung von Wärmenetzen reduzieren.

Strömungssimulationen stellen eine Möglichkeit dar, den konvektiven Wärmeübergang an beliebigen Anordnungen mit guter Genauigkeit zu bestimmen. Sie setzen jedoch neben einer geeigneten physikalischen Modellierung auch einige Sorgfalt bei der räumlichen Diskretisierung voraus.

Die Turbulenz einer Strömung muss aufgrund ihrer Komplexität und der damit einhergehenden Berechnungsdauer mit semiempirischen Modellen beschrieben werden. Da sie großen Einfluss auf den Wärmeübergang hat, ist zu klären, mit welchem Aufwand die turbulenten Vorgänge zu modellieren sind. Zu diesem Zwecke werden zukünftig Strömungsrechnungen mit Messergebnissen verifiziert.

Die Genauigkeit und Effektivität der Berechnungen hängt außerdem in erheblichem Ausmaß von der Qualität der räumlichen Diskretisierung ab, deren Grundlage ein CAD-Modell bildet. Ein solches Konstruktionsmodell ist in der Regel nicht ohne Weiteres für eine Vernetzung geeignet, da es zum einen viele für den Wärmeübergang irrelevante Bauteile enthält und darüber hinaus auch die relevanten Oberflächen deutlich zu facettenreich sein können. Die Vernetzung einer solchen Geometrie führt zu einer äußerst ineffektiven Berechnung. In einem vorausgehenden Arbeitsschritt sind die Modelle in geeigneter Weise zu vereinfachen. In dieser Arbeit ist zu untersuchen, welche Konstruktionsdetails den Wärmeübergang beeinflussen. Dement-

sprechende Modellvereinfachungen sind in einem Handbuch zu beschreiben.



*Bild 1: Schnittansicht einer gekapselten Sammelschiene vor Modellvereinfachung (links) und danach (rechts); Verschraubungen, das Kontaktsystem, die Isolatoröffnung und zahlreiche Konturen sind für den Wärmeübergang irrelevant*

Die zwangsläufig entstehenden Diskretisierungsfehler numerischer Lösungsverfahren sind nicht allein vom Gitterabstand abhängig. Daher sind weitere Qualitätsmerkmale sicherzustellen. Die Gradienten von Temperatur und Geschwindigkeit sind im wandnahen Bereich am größten, weshalb es ratsam ist, in diesem Bereich eine sehr feine Vernetzung vorzunehmen. Aufbauend auf allgemeinen Vernetzungsrichtlinien [1] wurden zur Bestimmung der problemspezifischen Anforderungen an die Berechnungsgitter Strömungsberechnungen an gekapselten Stromschienen vorgenommen. Die Ergebnisse wurden mit Erwärmungsversuchen aus früheren Arbeiten verifiziert.

Die Vernetzung soll in der späteren Anwendung der Berechnungsmethode mit möglichst geringfügiger Benutzerinteraktion erfolgen. Zu diesem Zweck ist sicherzustellen, dass der Lösungsalgorithmus hinreichend robust gegenüber Einschränkungen der Gitterqualität ist.

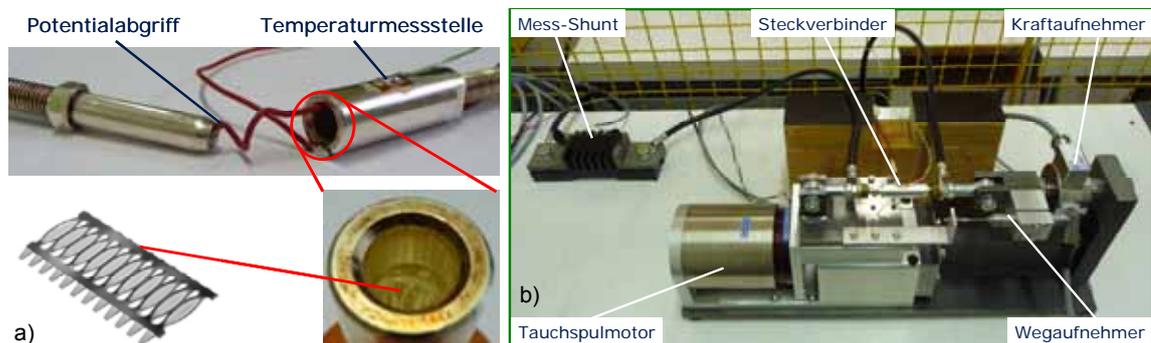
[1] ANSYS CFX HELP, Release 12.1



**Nils Lücke, Dipl.-Ing.**

### **Untersuchungen zum Gleitverschleiß an elektrischen Rundsteckverbindungen mit Kontaktlamellen**

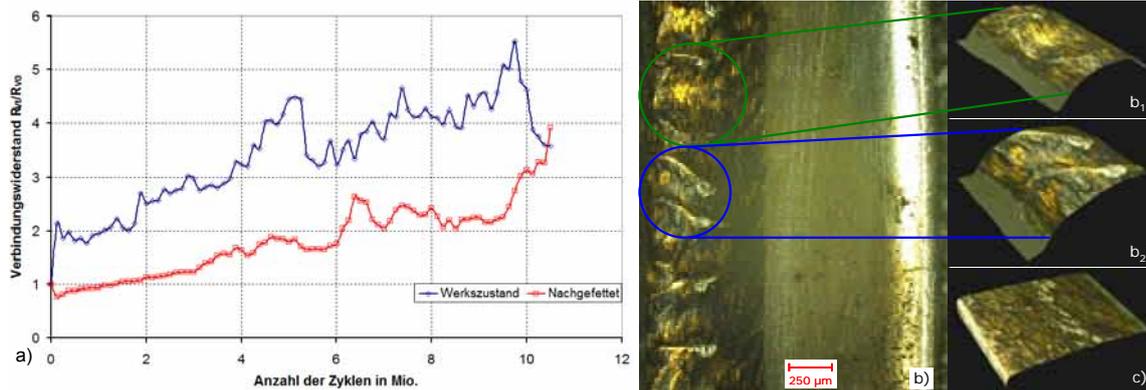
Die untersuchten Hochstromsteckverbinder bestehen aus einem Messingstecker und einer Messingbuchse, die beide mit Silber beschichtet sind (Bild 1a). Die mechanische und elektrische Verbindung zwischen Buchse und Stecker wird über eine Kontaktlamelle hergestellt. Diese besteht aus Kupfer-Beryllium (CuBe<sub>2</sub>) und ist ebenfalls silberbeschichtet. Beim Einbau der Lamelle in die Buchse ergeben sich 11 Lamellenstege, die gleichmäßig auf dem Umfang verteilt sind. Die Verbindungskraft zwischen Stecker und Lamellen wird durch deren Federwirkung (Drehfederprinzip) erzeugt. Um ein kontinuierliches Messen des Verbindungswiderstandes während der Versatzbewegungen zu ermöglichen, sind an Buchse und Stecker jeweils an den stromlosen Enden Potentialabgriffe befestigt. Die Verbindungstemperatur wird mit einem Thermoelement gemessen, das auf die Buchse in Höhe der eingebrachten Kontaktlamelle aufgeklebt ist.



*Bild 1: Rundsteckverbinder mit Kontaktlamelle (a) und Versuchsanordnung (b)*

Für die Untersuchungen zum Gleitverschleiß an Rundsteckverbindern wurde eine Versuchsanordnung aufgebaut (Bild 1b), mit der definierte Versatzbewegungen bis in den mm-Bereich möglich sind. Dazu wird ein geregelter Tauchspulmotor verwendet, der mit einem reibungsarm gelagerten Schlitten verbunden ist. Über einen digitalen Regler werden die Randbedingungen der Bewegungen vorgegeben und die Position des Schlittens entsprechend geregelt. Die Relativbewegung zwischen Stecker und Buchse des untersuchten Rundsteckverbinders wird mittels Wegaufnehmer gemessen. Dies ist notwendig, da ein Teil der vom Tauchspulmotor erzeugten Amplitude abhängig von der Reibkraft zwischen den Kontakten durch den Kraftaufnehmer oder durch die Versuchsanordnung an sich kompensiert wird. In den Steckverbinder wird ein elektrischer Gleichstrom von 130 A (Nennstrom

der Steckverbindung) eingespeist und mit einem Messshunt ( $R_{Sh} = 200 \mu\Omega$ ) erfasst. Die zu messenden Größen werden von einem Messverstärker (HBM QuantumX) verarbeitet und aufgezeichnet. Abhängig von der Anzahl der Versatzbewegungen mit einer Amplitude von  $200 \mu\text{m}$  und einer Frequenz von  $62,5 \text{ Hz}$  (Periodendauer  $16 \text{ ms}$ ) wurden u. a. die Verbindungswiderstände ausgewertet (Bild 2). Die Messwerte wurden im Ruhezustand und während der Bewegung nach jeweils  $125.000$  Versatzzyklen eine Sekunde lang aufgezeichnet.



**Bild 2:** a) Mittelwerte der Verbindungswiderstände während der Bewegung  
 b) u. c) Verschleiß an den Stegen der Kontaktlamelle nach 10,5 Mio.  
 Reibzyklen (opt. Mikroskop); b) Nachgefettet; c) Werkszustand

Nach einer Reibbelastung von  $10,5 \text{ Mio.}$  Zyklen wurden die Kontaktbereiche der Steckverbinder mit einem optischen 3D-Mikroskop untersucht. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede im Oberflächenabrieb, wie in Bild 2 am Beispiel jeweils eines Lamellensteiges erkennbar ist. Es hat sich gezeigt, dass im Werkszustand (WZ) nur wenige Partikel zwischen den Kontaktflächen eingeschlossen werden, da Abrasionsverschleiß nur im äußeren Randbereich der Kontaktpartner zu erkennen ist. Beim nachgefetteten Zustand (NZ) hat das zusätzlich aufgetragene Kontaktfett die Abriebpartikel gebunden, so dass es, nachdem die Silberbeschichtung soweit beschädigt war, erste Kupferpartikel zwischen den Kontakten eingeschlossen wurden und es zu starkem abrasivem Verschleiß kam. Bis zu diesem Zeitpunkt zeigte der NZ einen kleineren Verbindungswiderstand und einen deutlich geringeren Verschleiß gegenüber dem WZ. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die nachgebildeten Reibbelastungen in diesem Beitrag für die meisten Anwendungen der untersuchten Steckverbinder deutlich zu groß sind. Vielmehr handelt es sich um beschleunigte Alterungsversuche, deren Ergebnisse für konkrete Anwendungen entsprechend bewertet werden müssen. Zukünftige Untersuchungen zum Gleitverschleiß an Rundsteckverbindern werden mit unterschiedlichen Versatzamplituden durchgeführt, um den Übergangsbereich zwischen den Verschleißmechanismen Adhäsion und Abrasion bestimmen zu können.



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

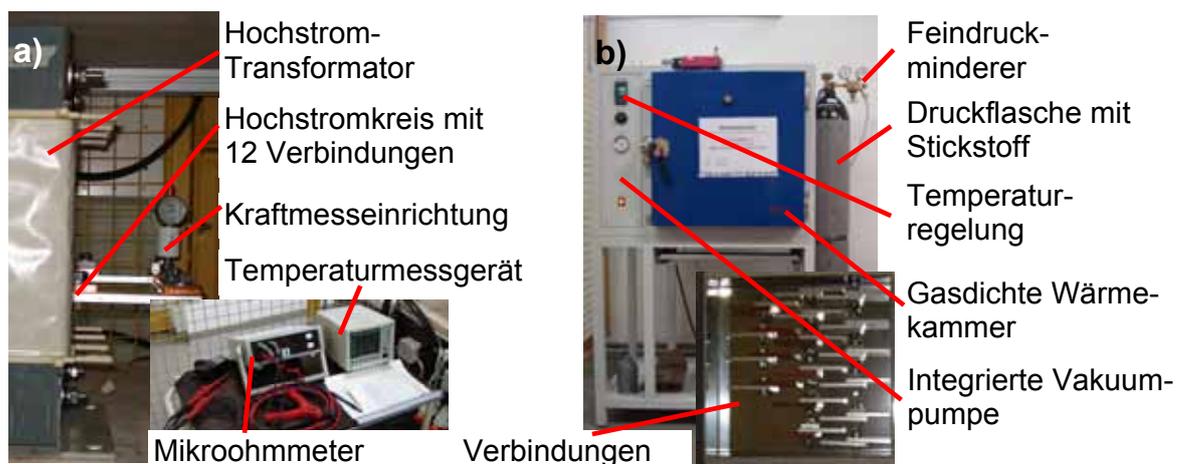
### **Einfluss der Interdiffusion auf die Alterung von Schraubenverbindungen mit verzinnnten Kupfer-Stromschienen**

Findet Diffusion zwischen zwei Metallen statt, wird dies als Interdiffusion bezeichnet. Die Interdiffusion kann zum Bilden von intermetallischen Phasen (IMP) in den Mikrokontakten von elektrischen Verbindungen führen, die andere mechanische und elektrische Eigenschaften haben als die Ausgangsmetalle. Dies hat Einfluss auf den Verbindungswiderstand  $R_v$  und somit auf die Lebensdauer der elektrischen Verbindung. Im System Zinn-Kupfer entstehen im untersuchten Temperaturbereich bis 140 °C zwei IMP (Tabelle 1).

*Tabelle 1: Materialeigenschaften*

<b>Materialeigenschaften</b>	Kupfer (Cu)	Zinn (Sn)	$\eta'$ -Phase (Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> )	$\epsilon$ -Phase (Cu <sub>3</sub> Sn)
<b>Härte in HV<sub>5p</sub></b>	95	7	<b>539</b>	<b>472</b>
<b><math>\rho</math> (20°C) in <math>\mu\Omega\text{m}</math></b>	0,017	0,116	<b>0,122</b>	<b>0,204</b>
<b><math>\alpha</math> in <math>10^{-3} 1/\text{K}</math></b>	3,81	4,6	<b>0,43</b>	<b>0,41</b>

Durch Langzeitversuche wurde der Einfluss der Alterung durch Interdiffusion abhängig von der Temperatur und der Zeit bestimmt. Es wurden Schraubenverbindungen mit verzinnnten (20  $\mu\text{m}$ ) und im Kontaktbereich gerillten, sowie verzinnnten (20  $\mu\text{m}$ ) und im Kontaktbereich ungerillten Stromschienen untersucht. Die Verbindungen wurden stromdurchflossen oder im Wärmeschrank bei unterschiedlichen Temperaturen gealtert (Bild 1).



*Bild 1: Versuchsaufbau: a) stromdurchflossen, b) Wärmeschrank*

Die Verbindungen im Wärmeschrank wurden unter Stickstoff-Atmosphäre gelagert, um den Einfluss der Oxidation zu minimieren. Es wurde der Verbindungswiderstand bei Raumtemperatur abhängig von der Zeit gemessen und der Schichtaufbau in festgelegten Abständen durch mikroskopische Untersuchungen bestimmt (Bilder 2 und 3).

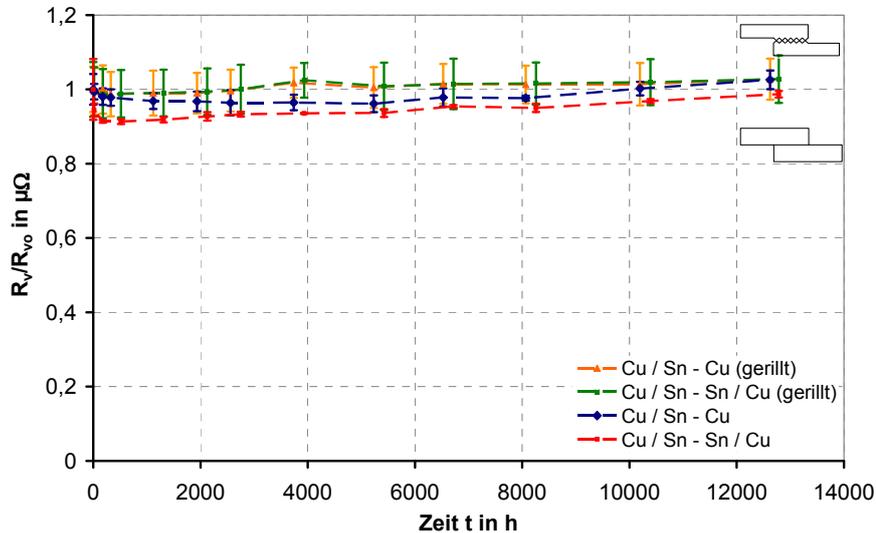


Bild 2: Beispiel: Verbindungswiderstand abhängig von der Zeit bei 140 °C (stromdurchflossene Verbindungen)

Der Verbindungswiderstand hat sich bei den Schraubenverbindungen mit gerillten Verbindungsflächen nach 13.000 h nicht geändert. Bei Verbindungen mit Stromschienen, die eine ungerillte Verbindungsfläche haben, erhöhte sich der Verbindungswiderstand leicht (Bild 2). Dieses Verhalten wird auf die Schichtdicke der IMP zurückgeführt (Bild 3).

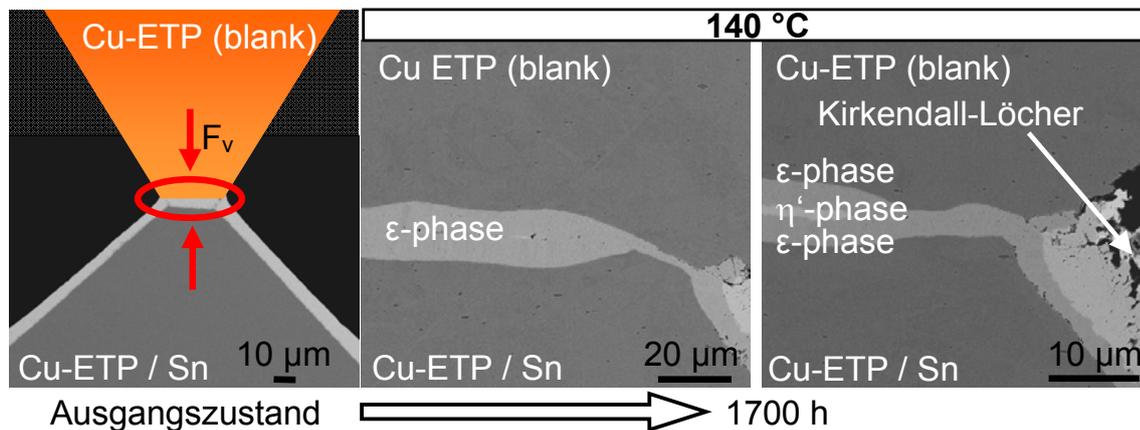


Bild 3: Mikroskopische Untersuchungen am Beispiel einer Schraubenverbindung mit gerillter verzinnter und gerillter blanker Stromschiene (Kreuzungspunkt)

Bei Verbindungen mit gerillten Stromschienen wird ein großer Teil der Zinnschicht beim Verschrauben aus dem Kreuzungspunkt herausgedrückt. Dadurch ist der Einfluss der IMP geringer als bei Verbindungen mit ungerillten Stromschienen. Im untersuchten Zeitbereich ist der Einfluss der IMP auf den Verbindungswiderstand im Materialsystem Zinn-Kupfer gering.



Ronny Schneider, Dipl.-Ing.

### Alterung elektrischer Bimetallverbindungen

Bimetallverbindungen aus Al / Cu und Al / Ag haben nur eine Lebensdauer von wenigen Monaten bis Jahren. Die Ursachen, die zu dieser schnellen Alterung führen, wurden bisher nur für im Wärmeschrank gelagerte Verbindungen untersucht (Jahresbericht 2009). Um aber auch stromdurchflossene Verbindungen untersuchen zu können, wurde ein Hochstromkreis aufgebaut. Die untersuchten Stromschienenverbindungen (50 mm x 10 mm) wurden direkt durch den Stromfluss (AC) erwärmt. Der Verbindungswiderstand wurde mit Hilfe einer Strom- und Spannungsmessung und die Verbindungstemperatur durch eingekörnte Thermoelemente kontinuierlich gemessen. Die Änderung der Verbindungskraft wurde mit einer M12-Dehnmessschraube und einer Mikrometeruhr bestimmt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für eine Al 99,5 / Al 99,5 (Bild 1) und eine Al 99,5 / Ag-SE Cu Stromschienenverbindung (Bild 2) vorgestellt.

Vor der Montage wurden die Verbindungsflächen mit Spiritus gereinigt. Oxidschichten auf den Al-Verbindungsflächen wurden mit einer fettfreien Drahtbürste entfernt. Die Verbindungen wurden mit einer Anfangskraft von 25 kN verschraubt und mit einem vorgegebenen Stromverlauf (Bilder 1 und 2) belastet.

Für die Al / Al-Verbindung ist zu erkennen, dass mit höherer Belastung die Temperatur und der Verbindungswiderstand größer werden (Bild 1). Hat die Verbindungstemperatur entsprechend des Belastungsstromes ihren Endwert erreicht, bleibt der Verbindungswiderstand konstant.

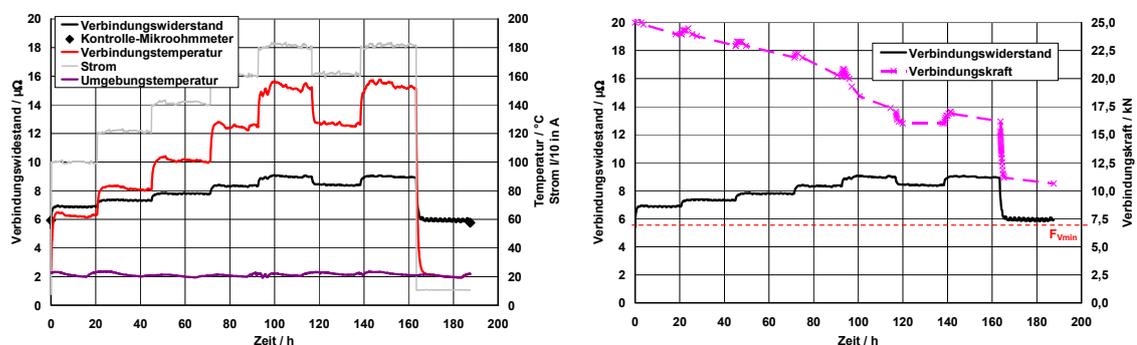


Bild 1: Verbindungswiderstand, Verbindungstemperatur (links) und Verbindungskraft (rechts) für einen vorgegebenen Stromverlauf einer Al / Al-Verbindung

Diese Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur wird vom Material Aluminium bzw. Kupfer bestimmt.

Wird der Strom erhöht, erhöht sich die Verbindungstemperatur und kurzzeitig auch die Verbindungskraft. Dieser Kraftanstieg kann vor allem mit der größeren thermischen Ausdehnung des Aluminiums im Bezug auf die Stahlschraube begründet werden. Grundsätzlich ist aber der Abbau der Verbindungskraft bei höheren Temperaturen dominant. Die Mindestkontaktkraft  $F_{Vmin}$ , unterhalb der sich der Verbindungswiderstand sprunghaft erhöhen kann, wurde hier nicht erreicht.

Bei den hier untersuchten Al / Ag-Cu-Verbindungen bleibt der Verbindungswiderstand nach einer Stromerhöhung nicht konstant (Bild 2). Schon bei einer Verbindungstemperatur von 70 °C ist ein deutlicher Anstieg des Widerstandes zu erkennen. Je höher die Verbindungstemperatur ist, desto größer ist der Anstieg des Verbindungswiderstandes. Wird die Verbindung wieder auf Raumtemperatur abgekühlt, erreicht der Verbindungswiderstand, trotz der zwischenzeitlich sehr hohen Werte, wieder seinen Anfangswiderstand. Die Mindestkontaktkraft wurde auch bei diesen Verbindungen nicht unterschritten.

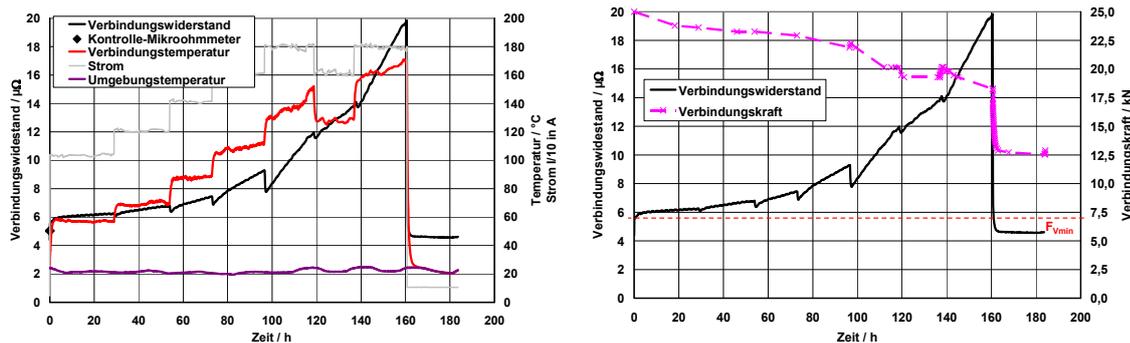


Bild 2: Verbindungswiderstand, Verbindungstemperatur (links) und Verbindungskraft (rechts) für einen vorgegebenen Stromverlauf einer Al / Ag-Cu-Verbindung

Der Alterungsmechanismus „Interdiffusion“ kann nicht die Ursache für diesen hohen Widerstandsanstieg sein, da die Widerstandsänderungen bereits bei niedrigen Temperaturen schnell ablaufen. Interdiffusionsvorgänge, die den Verbindungswiderstand so signifikant beeinflussen, brauchen bei diesen niedrigen Temperaturen mehrere Jahre.

Als Ursache werden bei diesen Verbindungen Oxidationsprozesse vermutet. Begründet durch die geringe Härte des Silbers können die wesentlich härteren Aluminiumoxidschichten die Mikrokontakte vollständig unterwandern und somit die wahre Kontaktfläche stark verringern. Je geringer die wahre Kontaktfläche ist, desto größer ist der Verbindungswiderstand. Kühlt die Verbindung wieder auf Raumtemperatur ab, brechen die Oxidschichten durch die unterschiedlichen thermischen Dehnungen der Leiterwerkstoffe Aluminium und Kupfer auf und der Verbindungswiderstand wird wieder geringer.

### **Diplomarbeiten**

Kaufmann, Benjamin

Untersuchungen zur Implementierung von extern ermittelten Wärmewiderständen in das Wärmenetz

DA 09/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Adam / Dipl.-Ing. Kallweit, ABB Schweiz)

Hildmann, Christian

Untersuchungen zum Verbindungswiderstand, zur Stromaufteilung und zur Erwärmung von Klemmen- und Pressverbindungen in Hochspannungs-Freileitungen und -Schaltanlagen

DA 10/2009 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. St. Großmann)

Krüger, Christoph

Vergleichende Untersuchungen zum Verbindungswiderstand bei Dauerbelastung und bei Wechsellast

DA 13/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schneider)

Dreier, Sebastian (Fak. Wirtschaftswissenschaften)

Untersuchungen zur Strombelastbarkeit von Betriebsmitteln der Hochspannungstechnik

DA 02/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. M. Conrad)

Pfeifer, Stephanie

Elektrische und mechanische Eigenschaften intermetallischer Phasen der Systeme Al-Cu und Al-Ag im Temperaturbereich von 90 – 200 °C

DA 03/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. N. Lücke / Dipl.-Ing. St. Schlegel)

### **Studienarbeiten**

Joost, Martin

Einfluss der Umgebungsbedingungen auf die Funktionalität von Weichen durch Vereisung und Funktionsprinzipien von Weichenheizungen

SA 01/2008 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Adam)

Karpuk, Denys

Untersuchungen zur Strombelastbarkeit von Betriebsmitteln der Hochspannungstechnik

SA 01/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. M. Conrad)

Gatzsche, Michael

Oxidation von Stromschienenverbindungen bei Temperaturen über 106 °C  
SA 02/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. St. Schlegel / Dipl.-Ing. N. Lücke)

Voigt, Matthias

Untersuchung zum Kraftabbau an geschraubten Stromschienenverbindungen  
SA 05/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schneider)

Fuhrmann, Torsten

Untersuchungen zum Freileitungs-Monitoring an einem angewandten Verfahren  
SA 09/2009 (Betreuer: Prof. Dr.-Ing. St. Großmann / Dipl.-Ing. M. Conrad)

Hering, Maria

Untersuchungen zur Prüfung isolierender Seile für das Arbeiten unter Spannung  
SA 10/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. H.-P. Pampel)

Stumpf, Franziska

Studie Umrüstung von AC-Freileitungen für DC-Betrieb  
SA 11/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. H.-P. Pampel)

Zielke, Volker

Untersuchungen zur Reibkorrosion bei elektrischen Steckverbindungen mit Kupfer-Beryllium-Kontaktlamellen  
SA 14/2009 (Betreuer: Dipl.-Ing. N. Lücke)

Leiteritz, Kay

Untersuchungen zur Konvektion im waagerechten Ölsplatt  
SA 05/2010 (Betreuer: Dipl.-Ing. M. Conrad)

### Vorträge

Schlegel, Stephan

Langzeitverhalten geschraubter Kupfer-Kupfer-Verbindungen bei Temperaturen über 105 °C

18. Kolloquium Hochspannungs- u. Anlagentechnik, Zittau, 17.-19.06.2010

Adam, Robert

Stromverdrängung in Drehstromsystemen mit mehreren Teilleitern in der Niederspannungstechnik

18. Kolloquium Hochspannungs- u. Anlagentechnik, Zittau, 17.-19.06.2010

Lücke, Nils

Praktisch relevante Versatzbewegungen bei Rundsteckverbindern mit Kontaktlamellen

18. Kolloquium Hochspannungs- u. Anlagentechnik, Zittau, 17.-19.06.2010

Conrad, Melanie

Untersuchungen zum Erwärmungsverhalten von horizontalen Ölkanälen in Hochspannungsprüftransformatoren

18. Kolloquium Hochspannungs- u. Anlagentechnik, Zittau, 17.-19.06.2010

Backhaus, Karsten

Die Öl-Papier-Isolierung unter hoher Gleichspannung

18. Kolloquium Hochspannungs- u. Anlagentechnik, Zittau, 17.-19.06.2010

Backhaus, Karsten

The behaviour of oil-paper insulation under high DC voltage

15th Int. Workshop on High Voltage Engineering, Wertach, 20.-24.09.2010

Conrad, Melanie

Investigation of the heating behaviour of coils with horizontal oil-cooling ducts

15th Int. Workshop on High Voltage Engineering, Wertach, 20.-24.09.2010

Speck, Joachim, Ovsyanko, Irina

Breakdown behaviour of screening electrodes for HVDC insulations

15th Int. Workshop on High Voltage Engineering, Wertach, 20.-24.09.2010

Ovsyanko, Irina

Entladungsverhalten von Luftfunkenstrecken im Meterbereich bei hohen Gleichspannungen

ETG Fachtagung Isoliersysteme bei Gleich- und Mischfeldbeanspruchung, Köln, 27.09.2010

Adam, Robert

Berechnen der Erwärmung von Niederspannungs-Schaltanlagen  
Industriepartner-Symposium, TU Dresden, 30.09.2010

Schlegel, Stephan

Untersuchungen zum Langzeitverhalten von elektrischen Verbindungen in  
der Elektroenergietechnik  
Industriepartner-Symposium, TU Dresden, 30.09.2010

Pampel, Hans-Peter; Speck, Joachim

Durchschlagverhalten von Abschirmelektroden für HVDC Isolierungen  
Industriepartner-Symposium, TU Dresden, 30.09.2010

Schlegel, Stephan

Joint Resistance of Bolted Copper - Copper Busbar Joints Depending on  
Joint Force at Temperatures beyond 105 °C  
25th ICEC International & 56th IEEE Holm Conference on Electrical Con-  
tacts, Charleston (South Carolina), 06.10.2010

Lücke, Nils

Long-term behaviour of plug-in connectors with copper beryllium contact  
lamellas depending on stress relaxation  
25th ICEC International & 56th IEEE Holm Conference on Electrical Con-  
tacts, Charleston (South Carolina), 07.10.2010

Lücke, Nils

Untersuchungen zum Gleitverschleiß an Rundsteckverbindern mit Kontakt-  
lamellen  
Hochschul-Kupfersymposium 2010, Saarbrücken, 10.-11.11.2010

### Veröffentlichungen

L. Bily, C. Hildmann, G. Moustafa, S. Großmann, R. Kleveborn, L. Carlshem:  
Experimental investigations to the joint resistance of bolted substation and  
transmission line connectors and its conformity to test standards  
43th CIGRÉ Session 2010, Paris/Frankreich, 23.-27.08.2010, Paper B3-206

I. Ovsyanko, J. Speck, S. Großmann:

Entladungsverhalten von Luftfunkenstrecken im Meterbereich bei hohen  
Gleichspannungen  
ETG Fachtagung Isoliersysteme bei Gleich- und Mischfeldbeanspruchung,  
Köln, 27.-28.09.2010, Beitrag 3.3

## **Forschung**

---

S. Schlegel, S. Großmann, H. Löbl, C. Blank, M. Hoidis, U. Kaltenborn, T. Magier:  
Gefügeuntersuchungen an langzeitbelasteten Stromschienenverbindungen aus kaltverfestigtem Kupfer  
13. Internationale Metallograph-Tagung, Loeben, 29.09.-01.10.2010

S. Schlegel, S. Großmann, H. Löbl, M. Hoidis, U. Kaltenborn, T. Magier:  
Joint Resistance of Bolted Copper - Copper Busbar Joints Depending on Joint Force at Temperatures beyond 105 °C  
25th ICEC International & 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Charleston (South Carolina), 04.-07.10.2010; Paper 14.3

N. Lücke, S. Großmann, H. Löbl, T. Ledermann, G. Freudiger:  
Long-term behaviour of plug-in connectors with copper beryllium contact lamellas depending on stress relaxation  
25th ICEC International & 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, Charleston (South Carolina), 04.-07.10.2010; Paper 18.1

N. Lücke, S. Großmann, H. Löbl, T. Ledermann, G. Freudiger:  
Untersuchungen zum Gleitverschleiß an Rundsteckverbindern mit Kontaktlamellen  
METALL - Internationale Fachzeitschrift für Metallurgie, 64. Jahrgang, 11/2010, Giesel Verlag GmbH Isernhagen, S. 419-422

# Dissertationen



**Falk Blumenroth, Dr.-Ing.**

**Zum Langzeitverhalten von Steckverbindungen mit Schraubenfedern in Anlagen der Elektroenergie-technik**

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann – TU Dresden  
Prof. Dr.-Ing. Frank Berger – TU Ilmenau

Das Langzeitverhalten von Steckverbindungen mit Schraubenfedern aus den Materialien CuCo<sub>2</sub>Be und CuCr<sub>1</sub>Zr (Montageverbindung), wie sie in gasisolierten Schaltanlagen (GIS) eingesetzt werden, wurde untersucht [1]. Alle Kontaktflächen in diesen Verbindungen waren versilbert, um einen niedrigen Verbindungswiderstand zu erhalten und um chemische Prozesse an den Kontaktflächen zu minimieren. Basierend auf den Erkenntnissen aus der Literatur und der thermischen sowie mechanischen Beanspruchung der Steckverbindung wurde davon ausgegangen, dass der Kraftabbau in der Verbindung und der Gleitverschleiß zwischen den Kontaktpartnern das Langzeitverhalten des elektrischen Widerstandes bestimmen.

Durch Spannungsrelaxation in der Feder verringert sich die Kontaktkraft in der Verbindung. Der Einfluss der Spannungsrelaxation auf das Langzeitverhalten des elektrischen Widerstandes der Steckverbindung wurde deshalb experimentell und theoretisch mit folgenden Ergebnissen untersucht.

- Es wurden Langzeitversuche mit CuCo<sub>2</sub>Be- und CuCr<sub>1</sub>Zr-Schraubenfedern in einer Modellverbindung bei einer Temperatur von  $\vartheta = 105\text{ °C}$  und Zeiten bis zu 34.580 h durchgeführt. Obwohl die Kontaktkraft mit der Zeit kleiner wird, bleibt der Verbindungswiderstand im untersuchten Zeitbereich quasi konstant.
- Ein Einfluss des Stromes auf das Langzeitverhalten der Verbindungen konnte für beide Federmaterialien nicht nachgewiesen werden.
- Der Abbau der Kontaktkraft über 40 Jahre wurde mit FE-Modellen für die Schraubenfedern mit dem Programm ANSYS berechnet. Die dazu notwendigen Materialparameter wurden bei  $\vartheta = 20\text{ °C}$  und  $\vartheta = 105\text{ °C}$  experimentell bestimmt. Ebenso wurden die Kriechparameter für beide Federmaterialien experimentell bestimmt, um mit der phänomenologischen Kriechgleichung die Spannungsrelaxation im stationären Kriechbereich berechnen zu können. Die Kontaktkraft in der Originalverbindung beträgt nach 40 Jahren für CuCo<sub>2</sub>Be nach 67 % und für CuCr<sub>1</sub>Zr noch 84 % der Anfangskontaktkraft.
- CuCr<sub>1</sub>Zr besitzt gegenüber CuCo<sub>2</sub>Be einen deutlich größeren Widerstand gegen Spannungsrelaxation.

- Basierend auf den gewonnenen experimentellen und theoretischen Kenntnissen kann davon ausgegangen werden, dass der Einfluss der Spannungsrelaxation auf das Langzeitverhalten der versilberten Steckverbindung sowohl mit CuCo2Be- als auch mit CuCr1Zr-Federn über 40 Jahre sehr gering ist.

Durch Gleitverschleiß an den Kontaktflächen der Steckverbindung zwischen der Feder und dem Leiterrohr kann die Silberbeschichtung beschädigt bzw. bis auf das Grundmaterial abgetragen werden. Der Einfluss des Gleitverschleißes auf das Langzeitverhalten des elektrischen Widerstandes von Steckverbindungen wurde experimentell unter atmosphärischer Luft bei verschiedenen Parametern mit folgenden Ergebnissen untersucht.

- Zur beschleunigten Untersuchung des Gleitverschleißes wurde ein Versuch „Tribometer“ mit vier Steckverbindungen aufgebaut [2].
- Ab einer Zyklenzahl > 20.000 können die Verbindungswiderstände bei  $\vartheta_V \approx 55\text{ °C}$  größer werden (Bild 1). Die unedleren Grundmaterialien der Federn und der Leiterrohre wurden durch Adhäsions- und Abrasionsprozesse freigelegt, so dass Oxidation mit dem Grundmaterial an den Kontaktflächen einsetzen konnte (Reibkorrosion).
- Es wurde im Verschleiß- und Widerstandsverhalten kein Unterschied zwischen CuCo2Be- und CuCr1Zr-Schraubenfedern festgestellt, da die Kontaktkräfte annähernd gleich groß waren.

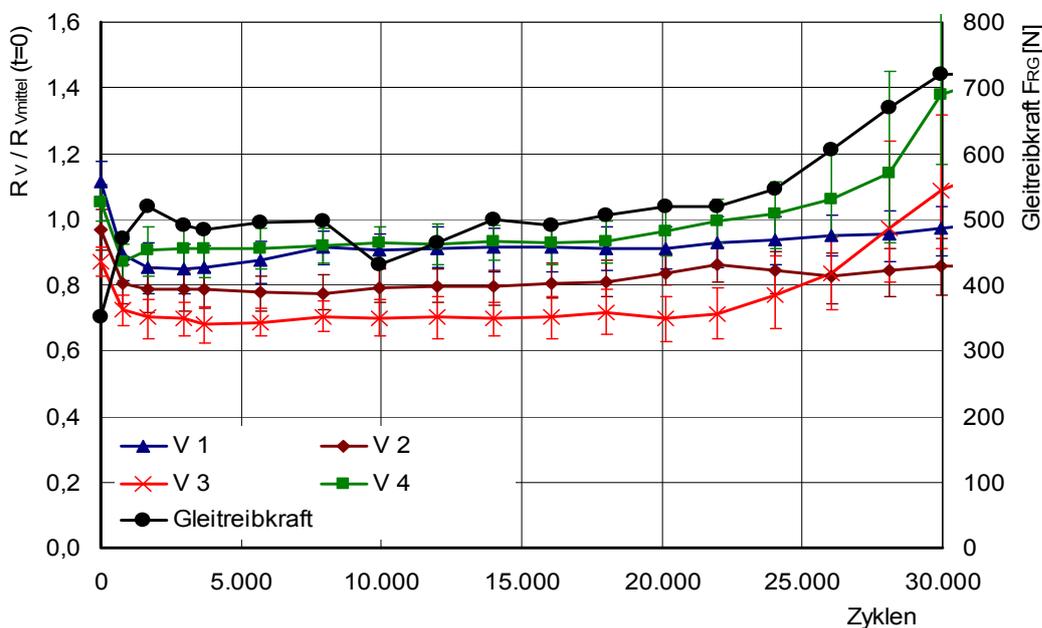


Bild 1: Verbindungswiderstände  $R_V$  und Gleitreibungkraft  $F_{RG}$  für CuCo2Be-Schraubenfedern bei  $\vartheta_V = 55\text{ °C}$  abhängig von der Zahl der Bewegungszyklen (Kontaktflächen gefettet)

- [1] Blumenroth, F.: Langzeitverhalten von Hochstrom-Steckverbindungen mit CuCo2Be Schraubenfedern, Jahresbericht IEEH 2005
- [2] Blumenroth, F.: Alterung durch Gleitverschleiß an Steckverbindungen mit Schraubenfedern, Jahresbericht IEEH 2007

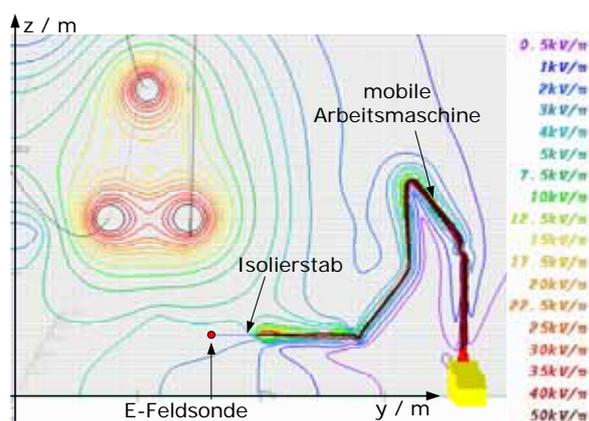


**Christian Henze, Dr.-Ing.**

### **Freileitungsidentifikation auf der Grundlage von Feldstärkemessungen und deren Anwendung auf Spannungswarn- und Schutzsysteme**

Gutachter: Doz. Dr.-Ing. Hartmut Bauer – TU Dresden  
Prof. Dr.-Ing. Harald Schwarz – TU Cottbus

Ziel der Dissertation ist die Identifikation von Freileitungen auf der Basis von dreidimensional gemessenen Feldstärkeprofilen. Unter Freileitungsidentifikation wird die Bestimmung der elektrischen und geometrischen Parameter einer Freileitung verstanden. In den meisten Fällen sind die Quellen bekannt und das elektrische Feld wird berechnet. Hierbei handelt es sich jedoch um die Lösung eines inversen Problems.



*Bild 1: Simulation der Feldmessung für eine 380-kV-Leitung unter Einbeziehung eines Modells einer Autobetonpumpe in „EMF“*

Da reale Feldmessungen zu aufwändig und unflexibel sind, werden aufbauend auf den berechneten Feldstärkeprofilen (Bild 1) von typischen Freileitungen unterschiedlicher Nennspannung geeignete Verfahren für die Freileitungsidentifikation untersucht und optimiert. Diese Verfahren sind ein regelbasiertes Verfahren (empirische Methode), Künstliche Neuronale Netze, ein Verfahren zur lokalen Optimierung (analytische Methode) und ein Verfahren zur globalen Optimierung (Particle Swarm Optimierung) [1].

Aus diesen Verfahren wird die analytische Methode ausgewählt.

Diese basiert auf dem Modell der unendlich langen, zueinander und zum Erdboden parallelen Linienleiter. Dieses Modell ermöglicht das Aufstellen eines nichtlinearen Gleichungssystems (NGLS, Gleichung (1)), welches mit Hilfe von numerischen Lösungsverfahren iterativ gelöst werden kann. Die Konvergenz des hierfür eingesetzten Levenberg-Marquardt-Verfahrens ist abhängig von den gewählten Startwerten und den zum Aufstellen des NGLS verwendeten Messorten. Geeignete Startwerte können aus den Ergebnissen der empirischen Methode bestimmt werden. Zur Verbesserung der Konvergenz empfiehlt sich das Aufstellen von überbestimmten NGLS.

Darüber hinaus kann die Anzahl der Unbekannten durch die Nutzung von Zusatzinformationen, z. B. die Kenntnis des Mastbildes, reduziert werden. Die Genauigkeit der berechneten Freileitungsparameter (Positionen, Scheitelwerte und Phasenlagen der Linienladungen) ist abhängig von der Genauigkeit der Messung der Feldgrößen (Scheitelwerte und Phasenlagen der drei Komponenten der elektrischen Feldstärke) sowie von der Bestimmung der Messorte. Eine ausführliche Sensibilitätsanalyse gegenüber systematischen und zufälligen Messfehlern zeigt, dass die Identifikation der Freileitung aus den Messwerten der elektrischen Feldstärke bei Freileitungen mit bis zu acht Leitern unter Einhaltung festgelegter Toleranzbereiche der Messgrößen gelingt.

$$\begin{aligned}
 0 &= \left( \sum_{i=1}^N -\frac{q_i'}{2\pi\epsilon} (y_{p1} - y_{qi}) \left[ \frac{1}{r_{i1}^2} - \frac{1}{r_{i2}^2} \right] \right) - e_y(y_{p1}, z_{p1}) \\
 0 &= \left( \sum_{i=1}^N -\frac{q_i'}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{z_{p1} + z_{qi}}{r_{i1}^2} - \frac{z_{p1} - z_{qi}}{r_{i2}^2} \right] \right) - e_z(y_{p1}, z_{p1}) \\
 0 &= \left( \sum_{i=1}^N -\frac{q_i'}{2\pi\epsilon} (y_{p2} - y_{qi}) \left[ \frac{1}{r_{i2}^2} - \frac{1}{r_{i3}^2} \right] \right) - e_y(y_{p2}, z_{p2}) \\
 0 &= \left( \sum_{i=1}^N -\frac{q_i'}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{z_{p2} + z_{qi}}{r_{i2}^2} - \frac{z_{p2} - z_{qi}}{r_{i3}^2} \right] \right) - e_z(y_{p2}, z_{p2}) \\
 &\vdots \\
 0 &= \left( \sum_{i=1}^N -\frac{q_i'}{2\pi\epsilon} (y_{ps} - y_{qi}) \left[ \frac{1}{r_{is}^2} - \frac{1}{r_{i2}^2} \right] \right) - e_y(y_{ps}, z_{ps}) \\
 0 &= \left( \sum_{i=1}^N -\frac{q_i'}{2\pi\epsilon} \left[ \frac{z_{ps} + z_{qi}}{r_{is}^2} - \frac{z_{ps} - z_{qi}}{r_{i2}^2} \right] \right) - e_z(y_{ps}, z_{ps})
 \end{aligned} \tag{1}$$

Die Freileitungsidentifikation ist anwendbar zur Bestimmung eines Schutzraumes um die Leiterseile. Auf diese Weise kann bei Bauarbeiten mit mobilen Arbeitsmaschinen in der Nähe von Freileitungen eine Kollisionsraumüberwachung durchgeführt werden, um das Eindringen von Konstruktionsteilen in den Schutzraum der Freileitung zu verhindern.

Der als Prinzipnachweis aufgebaute Demonstrator [2] besteht aus der modifizierten E-Feldsonde, dem entwickelten Steuerrechner, einer Autobetonpumpe sowie einer Testfreileitung, die mit einem Drehstromsystem betrieben wird. Bei der Systemerprobung haben sich strukturierte, gestaffelte Tests bewährt. Dabei wurde u. a. deutlich, dass bei zu großen Messortabweichungen die analytische Methode nicht konvergiert. Der resultierende innere Kollisionsraum wird in diesem Fall auf Grundlage der Ergebnisse der empirischen Methode größer als erforderlich bestimmt. Die anschließende Überwachung der beiden Kollisionsräume funktioniert zuverlässig.

- [1] *Jahresbericht des IEEH 2009*  
 [2] *Jahresbericht des IEEH 2008*



# **Veranstaltungen**

### **8. VDE-Fachtagung „Arbeiten unter Spannung (AuS)“ am 14. und 15.09.2010 an der TU Dresden**

Die Energietechnische Gesellschaft im VDE (ETG) und der VDE-Bezirksverein Dresden haben erneut deutsche und ausländische Fachkollegen im September 2010 für zwei Tage zur 8. Fachtagung „Arbeiten unter Spannung (AuS)“ in das Hörsaalzentrum der Technischen Universität nach Dresden eingeladen. Wissenschaftliche Tagungsleitung und Organisation lagen wie bei den vergangenen Fachtagungen in den Händen unseres Institutes. Dabei konnten Herr Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann als wissenschaftlicher Tagungsleiter und Herr Dipl.-Ing. Hans-Peter Pampel bei der Organisation auf die reichhaltige Erfahrung und die tatkräftige Unterstützung von Herrn Dr.-Ing. Eberhard Engelmann zurückgreifen.

Das unverminderte Interesse am AuS, der zunehmende Anwendungsgrad in Deutschland, neue und verbesserte Ausrüstungen sowie umfangreichere Erfahrungen beim AuS spiegeln sich im regen Interesse der 162 Teilnehmer wieder.

Die in 15 Vorträgen gesetzten und in der Diskussion vertieften Schwerpunkte:

- Verantwortung und Sicherheit beim Arbeiten unter Spannung,
- Arbeiten unter Spannung in Niederspannungsanlagen und
- Arbeiten unter Spannung in Mittelspannungsnetzen

verdeutlichten Folgendes:

- Vereinfachte Elektroenergieversorgungsanlagen, wachsende Anforderungen an die Netzverfügbarkeit, Netzzuverlässigkeit und Versorgungssicherheit zwingen zunehmend zum AuS.
- Umfangreiche, aufeinander abgestimmte Rechtsgrundlagen, Vorschriften und verbesserte Normen für sicheres AuS stehen dafür als Grundlagen zur Verfügung. Daran ändert auch nichts, dass die TRBS 2131 „Elektrische Gefährdung“ zurückgezogen wurde.
- Mit der Einführung eines „Gütesiegels AuS für Ausbildungsstätten“ durch den Fachausschuss V2.2 der ETG wurde ein weiterer bedeutender Schritt für die Qualitätssicherung beim AuS gegangen.
- Bedeutendes wurde bei der Verbesserung des Störlichtbogenschutzes beim AuS in NS-Anlagen erreicht. Das gelingt einerseits durch die Einwirkzeit des Lichtbogens verkürzende Kurzschließer. Andererseits wurde über verbesserte PSA berichtet.
- Das AuS entwickelt sich natürlich auch weiter: neue AuS-Ausrüstungen, verbesserte Werkzeuge und neue AuS-Technologien sind entstanden, z. B. verschiedene Überbrückungseinrichtungen, das AuS unter Last und in typgeprüften MS-Anlagen.

In einem Vortrag zum Überspannungsgeschehen in MS-Netzen referierte Herr Dipl. Ing. Thomas Jordan über Langzeitmessungen unseres Institutes im MS-Netz. Die aus den Messungen gewonnenen Erkenntnisse dienen zur sicherheitstechnischen Bewertung von AuS-Ausrüstungen und sind Bestandteil der von Herrn Dipl.-Ing. Thomas Jordan bearbeiteten Forschungsarbeit „Isoliervermögen und Stromtragfähigkeit eines neuen Überbrückungssystems für MS-Innenraum-Schaltanlagen“. Diese wurde zusammen und mit Unterstützung von Industriepartnern durchgeführt.

Ergänzt wurde das Vortragsprogramm durch eine Fachausstellung, auf der Hersteller und AuS-Dienstleistungsunternehmen ihre Produkte präsentieren konnten.

Und für die Dresdener Fachtagung bereits Tradition: Neue und bewährte AuS-Technologien und -Ausrüstungen wurden unter praxisnahen Bedingungen und unter Spannung vorgeführt.



*Wechsel eines MS-Holzastes unter Spannung*

### Highvolt-Preis 2010

Zum Tag der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik werden jedes Jahr die Besten für Ihre Diplomarbeiten bzw. Dissertationen ausgezeichnet.

Die Fa. Highvolt aus Dresden vergibt ihren Preis an die beste Diplomarbeit des Fachbereiches Elektroenergietechnik. In diesem Jahr gratulieren wir Herrn Dipl.-Ing. Tobias Heß recht herzlich, der für seine am IEEH entstandene Diplomarbeit zum Thema „Grundlagen der gekoppelten dynamischen Modellierung der elektrischen und thermischen Prozesse von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen“ ausgezeichnet wurde.



(Foto: Dr. Uhlemann, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik)

*Übergabe des Highvolt-Preises*

### Exkursionen

#### *VDE-Exkursion Elektroenergietechnik vom 25.-29.05.2010*

Am Dienstag, dem 25.05.2010, startete die diesjährige Exkursion der Elektroenergietechnik in Richtung Düsseldorf. Insgesamt nahmen 38 Studenten unter der Leitung von Herrn Prof. Schegner und Herrn Prof. Gorgius an der Fahrt teil. Unsere erste Station war der Kabelhersteller Nexans in Hannover. Nach einer kurzen Einführung zum Unternehmen und einem Vortrag über Kabelaufbau und Fertigung nahmen wir an einem Rundgang durch die Produktion teil. Anschließend setzten wir unsere Fahrt fort und erreichten am Abend Düsseldorf.

Am nächsten Tag starteten wir in Richtung Niederlande, wo wir die KEMA und TenneT in Arnheim besuchten. Im Fokus der KEMA stehen zum Beispiel technische Beratungsleistungen in der Energieversorgung. Dabei wird die gesamte Wertschöpfungskette von der Erzeugung über die Übertragung, Verteilung bis hin zum Endkunden abgedeckt. Nach einem kurzen Imbiss stand die Besichtigung der Prüflabore der KEMA auf dem Plan. Anschließend besuchten wir die Leitstelle von TenneT, dem niederländischen Netzbetreiber. Der aktuelle Schaltzustand im Netz wird mittels modernster Prozessleittechnik visualisiert.

Am Donnerstag besuchten wir vormittags das Transformatorenwerk von Areva in Mönchen-Gladbach. An diesem Standort werden in erster Linie große und mittelgroße Trafos im Leistungsbereich von etwa 10 MVA bis hin zu 1.100 MVA gebaut. Nach dem Mittagessen in der Kantine fuhren wir zu unserer nächsten Station, dem Kraftwerk Datteln. Dort wird ein neuer Kraftwerksblock mit einer Leistung von 1.100 MW gebaut. Dieser soll die bestehenden drei alten Blöcke ersetzen. Neben einer Einspeisung in das 380-kV-Netz ist auch eine Versorgung des Bahnnetzes vorgesehen. Während einer Rundfahrt mit dem Bus konnten wir uns einen Einblick in die momentan laufenden Arbeiten am Kraftwerk verschaffen. Große Teile des Kraftwerks, wie z. B. der Kühlturm, sind bereits fertiggestellt. Am Abend konnten wir gemeinsam auf Einladung der Firma E.on den Starlight Express in Bochum besuchen. Das rasante Musical hat bei vielen einen bleibenden Eindruck hinterlassen.

Auf dem Programm für Freitagvormittag stand der Besuch der Firma Schorch Maschinen. Zu den Produkten zählen im Wesentlichen Asynchronmaschinen. Eine Spezialisierung stellen die schnelllaufenden sowie die explosionsgeschützten Maschinen dar. Der Leistungsbereich reicht von kleinen Maschinen mit wenigen 100 W bis hin zu den sehr großen mit bis zu 25 MW. Für den Nachmittag konnte man sich zwischen dem Besuch der Kraftwerksschule des PowerTech Training Centers oder des Simulatorzentrums für Kernkraftwerke entscheiden. In der Kraftwerksschule kann das

## Veranstaltungen

---

Verhalten von konventionellen Kraftwerken in verschiedenen Situationen simuliert werden. Im Simulatorzentrum sind die Leitstände der einzelnen Kernkraftwerke nachgebildet. Schließlich setzte sich die Fahrt in Richtung Krefeld fort. Dort trafen wir uns bei einem Abendessen mit Mitgliedern des VDE Niederrhein, die uns einen herzlichen Empfang bereiteten. In gemütlicher Runde konnten wir bei gutem Essen neue Kontakte knüpfen.

Am Samstag ging es dann wieder zurück nach Dresden, wobei wir auf der Rückfahrt noch einen Zwischenstopp in Wolfsburg machten, um uns dort die phaeno-Ausstellung anzuschauen. Dort wurden dem Besucher physikalische Phänomene sehr anschaulich in Form von kleinen Experimenten näher gebracht. Am Abend erreichten wir schließlich den Dresdner Hauptbahnhof. Damit ging eine sehr erlebnisreiche Woche zu Ende, die viele Einblicke in die praktischen Tätigkeiten der Energietechnik gab.



*Gruppenfoto der VDE-Pfingstexkursion 2010 (Kraftwerksbau Datteln)*

### Studentenexkursion zu einem Umspannwerk der DREWAG

Im Rahmen der Vorlesung Elektroanlagenprojektierung findet regelmäßig eine Exkursion in ein Umspannwerk der DREWAG statt. Die diesjährige Besichtigung erfolgte am 08.02.2010. Besichtigt wurde das 110-/20-kV-



Umspannwerk Dresden-Wilschdorf. Die Studenten erhalten damit die Möglichkeit, die praktische Anwendung des in der Vorlesung theoretisch vermittelten Wissens kennen zu lernen. Abgerundet wurde der Besuch durch die fachkundige Führung eines DREWAG-Mitarbeiters.

*UW Dresden-Wilschdorf (Quelle: DREWAG)*

### Exkursion zur Doble-Lemke GmbH am 03.03.2010

Am Mittwoch, dem 03.03.2010, folgten die Mitarbeiter des Lehrstuhls für Hochspannungs- und Hochstromtechnik einer Einladung der Doble-Lemke GmbH zu einer Besichtigung ihrer Produktions- und Entwicklungsstätten in Dresden-Kesselsdorf. Dort erfuhren wir in einem Vortrag mehr über die Firmenstruktur des Unternehmens und die Produktpalette des Herstellers für Hochspannungsprüf- und -diagnostik. Bei einem Rundgang durch die Fertigungsräume erhielten wir einen tiefen Einblick in die Fertigungsprozesse der Geräte und Anlagen. Anschließend wurde uns eine Auswahl an neuester Hochspannungsprüf- und -messtechnik in den firmeneigenen Prüfanlagen vorgeführt, wobei angeregte Diskussionen über die technischen Details entstanden.

### Exkursion zum „1. Tag elektrischer Mobilität der HTW Dresden“

Im Rahmen des diesjährigen Oberseminars „Einspeisen regenerativer Energien in Netze der Elektroenergieversorgung“ wurde am 08.06.2010 eine Exkursion in das Elektromobilitätslabor der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) in Dresden angeboten. Neben der Untersuchung verschiedener Batterieladekonzepte und dem Vergleich diverser Elektrokleinfahrzeuge wird hier auch an der vollelektronischen Steuerung der Fahrzeuge (CAN-Bus/FlexRay) geforscht. Die Fragen zur zukünftigen Entwicklung des Marktes der Elektrofahrzeuge und der damit verbundenen Möglichkeit zur Netzeinspeisung konnten geklärt und somit das gestellte Ziel der Zukunftsprognose der E-Mobility von den Studenten erarbeitet werden. Außerdem bot sich die Möglichkeit Elektrofahrzeuge probeweise zu fahren und somit einen eigenen Eindruck von Leistung und Komfort zu bekommen.



*Folgende weitere Exkursionen wurden durchgeführt:*

- VDE-Exkursion zum KW Schwarze Pumpe am 16.01.2010
- Exkursionen zur DREWAG ins Gasturbinen-Heizkraftwerk Nossener Brücke mit Studenten der Fakultäten Maschinenwesen und Wirtschaftsingenieurwesen (3. Semester) am 22.01. + 29.01.2010
- Exkursion ins DREWAG-Museum „Kraftwerk“ am 28.01.2010
- VDE-Exkursion zur CeBit nach Hannover am 03.03.2010
- VDE-Exkursion zur Industriemesse nach Hannover am 21.04.2010
- 380-/110-kV-Umspannwerk Dresden-Süd von Vattenfall:
  - Besichtigung im Rahmen der Vorlesung „Elektroenergieversorgung für Wirtschaftsingenieure“ am 17.06.2010
  - Besichtigung und Feldmessung im Rahmen der Vorlesung „Zuverlässigkeits- und Sicherheitsberechnung“ am 25.06.2010
- Hauptschaltleitung der ENSO in Heidenau und 380-/110-kV-Umspannwerk Dresden-Süd von Vattenfall im Rahmen der Vorlesung „Schaltanlagen- und Netzleittechnik“ am 02.07.2010

### **Schnupperstudium für einen Tag am 14.01.2010**

### **Uni-Tag am 29.05.2010**

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.

### **Lange Nacht der Wissenschaften am 18.06.2010**

Auch in diesem Jahr waren die Experimentalvorträge in der Hochspannungshalle anlässlich der „Langen Nacht der Wissenschaften“ in der Stadt Dresden einer der Besuchermagneten. In fünf nacheinander stattfindenden Vorträgen hatten mehr als 450 Interessierte die Möglichkeit, sich über Hochspannungstechnik im Allgemeinen, über deren Anwendung in der Elektroenergieversorgung und über die Forschung auf diesem Gebiet zu informieren und beeindruckende Experimente zu erleben.

### „Power“-Grill am 05.05.2010

Auch im abgelaufenen Jahr nutzten wieder zahlreiche Studenten die Gelegenheit zum Gespräch mit den Hochschullehrern und Mitarbeitern des Elektrotechnischen Instituts (ETI) und des Instituts für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH) im Rahmen des „Power“-Grillens hinter der Hochspannungshalle. Den interessierten, angehenden Ingenieuren bot sich die Möglichkeit, mehr über die Vertiefungsrichtung Energietechnik im Hauptstudium zu erfahren. Bei einem Laborrundgang wurden die Hochspannungshalle sowie die Praktikumsversuchsstände und 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 in besonderem Maße Wert gelegt wird, resultiert unter anderem aus Gesprächen bei solchen Anlässen.

---

### Weihnachtsfeier für Studenten am 13.12.2010

Mitte Dezember 2010 fand die diesjährige Weihnachtsfeier für Studierende des IEEH statt. In lockerer Runde wurden den Studierenden ein kurzer Rückblick über das Jahr 2010 am IEEH sowie ein Ausblick für das Jahr 2011 gegeben. Nach der Kurzdarstellung der Forschungsschwerpunkte des Instituts folgte ein Erfahrungsbericht über ein Auslandspraktikum in Japan.

Gespräche über Zukunfts- und Forschungsthemen sowie Möglichkeiten zu Auslandsaufenthalten ergaben für Mitarbeiter und Studierende des IEEH eine gute Gelegenheit, sich einmal in einem anderen Rahmen kennenzulernen.



*Weihnachtsfeier in der Hochspannungshalle*



*Impressionen aus Japan*

### 18. Kolloquium Hochspannungs- und Anlagentechnik 17. - 19.06.2010 in Zittau

Zum jährlichen Treffen des „Darmstädter Kreises“ begrüßte vom 17. bis 19. Juni 2010 der Fachbereich Elektrotechnik- und Informationstechnik der Hochschule Zittau/Görlitz die Partnerinstitute aus Dresden, Darmstadt, Ilmenau und München.

Schwerpunkt in den Fachvorträgen waren die Forschungsschwerpunkte der einzelnen Institute auf den Gebieten der Isolierstoffe, Schaltgeräte, Varistoren sowie der elektrischer Verbindungen und Anlagen.

Für die jungen Mitarbeiter bot sich dabei vor allem die Möglichkeit, wissenschaftliche Diskussionen zu führen sowie des persönlichen Kennenlernens und des Erfahrungsaustauschs. Zum Rahmenprogramm der Veranstaltung zählten die Besichtigung der Laboreinrichtungen an der Hochschule Zittau und ein geselliges Miteinander in der Baude auf dem Hochwald.



*Eröffnung*



*Auditorium*



*Rundgang HS Zittau*



*Blick vom Berg Oybin*



*Geselliger Abend  
in der Bergbaude*

## Veranstaltungen

---

### **Assistentenausflug der Professur Hochspannungs- und Hochstromtechnik vom 09. - 11.07.2010 nach Meißen und Radeburg**

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 angereist.

Am Freitag stand eine Besichtigung der Firma Wacker-Chemie in Nünchritz auf dem Plan. Nach einem ausführlichen Firmen-Vortrag erfolgte eine Busrundfahrt durch das riesige Gelände der Firma.

Abends bezogen wir unser Hotel in Radeburg. Nach dem Abendessen wurde noch auf der Bowlingbahn um Punkte gespielt.

Am Samstag ging es zuerst nach Meißen. Mit einer individuellen Stadtführung begann der Tagesplan. Nach dem Mittagessen auf dem Burgberg mit schöner Aussicht über die Stadt erfolgte die Besichtigung der Porzellanmanufaktur mit Führung. Da es sehr heiß war, wurde das Nachmittagsprogramm kurzfristig geändert. Anstatt der geplanten Wanderung wurde das WM-Fußballspiel um den 3. Platz Uruguay gegen Deutschland im Hotel geschaut. Bei einem gemütlichen Grillabend klang der Tag aus.

Am Sonntag gab es eine kurze Stadtführung in Radeburg, danach fahren wir mit dem „Lößnitzdackel“ nach Moritzburg. Nach einem Spaziergang zum Leuchtturm und einem leckeren Mittagessen ging der Ausflug zu Ende.



*Stadtführung in Meißen*



*Zugfahrt nach Moritzburg*

### **Projekttag am 01.10.2010:**

### **Besuch der Radebeuler Weinberge und der Kläranlage Dresden-Kaditz**

Am 01. Oktober 2010 unternahm das Institut einen gemeinsamen Ausflug in die Radebeuler Weinberge zum Weingut Hoflößnitz. Der Weg zu Fuß dorthin führte durch die historische Eduard-Bilz-Straße mit ihren Landhausvillen. Ein Abstecher zum Spitzhaus mit seinem wunderschönen Panoramablick führte uns dann zum Weingut, wo eine kleine Ausstellung und das historische Gutshaus mit seinen aufwändig bemalten Wandtäfelungen zu besichtigen war. Beim letzten Federweißen der Saison wurde in der beschaulichen und gemütlichen Stube zu Mittag gegessen.



*Zu Fuß durch die Radebeuler Weinberge*

Nach einem kurzen Verdauungsspaziergang ging es von dort mit den öffentlichen Verkehrsmitteln zur Kläranlage Dresden-Kaditz. Während einer Führung durch die Kläranlage wurde deren Funktion, Wirksamkeit und die Sicherheitsmaßnahmen zum Starkregen- und Hochwasserschutz ausführlich erläutert. Die Bedeutung der Anlage für den Schutz der Elbe und der darin lebenden Tiere fand dabei besondere Beachtung. Einigen Kollegen ist dabei sicherlich der eindruckliche Geruch in den Räumen in Erinnerung geblieben. Ein Teil der für den Betrieb der Kläranlage benötigten Elektroenergie wird vor Ort mit einer Photovoltaikanlage gewonnen, die zum Abschluss des Rundgangs besichtigt wurde.



*Besuch der Photovoltaikanlage der Kläranlage Dresden-Kaditz*

### Absolvententreffen der Studienjahrganges 1954

Anlässlich der 50. Wiederkehr des Jahres der Diplomprüfung trafen sich am 28. und 29. April 2010 zehn Absolventen des Studienjahrganges 1954 der Starkstromtechnik in Dresden. In geselliger Runde standen viele interessante Themen aus Vergangenheit und Zukunft zur Diskussion. Für die Einladung zur ausführlichen Besichtigung der Institute für Hochspannungstechnik und Elektrische Maschinen und die vielen Erläuterungen zur Lehre und Forschung danken die Teilnehmer des Treffens ganz herzlich den Herren Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann (IEEH) und Prof. Dr.-Ing. Wilfried Hofmann (ETI). Wir freuen uns, dass die alten Traditionen fortgeführt und weiterentwickelt werden und wünschen allen Institutsangehörigen viel Erfolg in Lehre und Forschung.

Wolfgang Golbig und Günter Gensch



*Beim Vortrag von Prof. Großmann im Seminarraum Binderbau zu Lehre und Forschung am IEEH*



*Besuch in der Hochspannungshalle*

### Öffentlichkeitsarbeit

Neben den oben genannten Veranstaltungen fanden Informations- und Weiterbildungsveranstaltungen im Rahmen der Fachschaftentagung Maschinenbau, des ‚open house‘ der GWT-TUD, für die HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH, die TU Chemnitz sowie die Fachschule für Technik Bautzen statt.

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

### Weiterbildung

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl und Prof. Dr.-Ing. Steffen Großmann waren im März und Mai 2010 als Dozenten bei der Ausbildung zum akkreditierten Elektrothermografen des Verbandes der Schadensversicherer VdS tätig.

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl und Dr.-Ing. Joachim Speck waren im mehrmals im Jahr 2010 im Rahmen des „Support Elektrotechnik – Hochstromtechnik – Hochspannungstechnik“ als Dozenten für die AREVA Energietechnik GmbH in Regensburg tätig.

Dr.-Ing. Jan Meyer und Prof. Dr.-Ing. habil. Gert Winkler waren im März und im Oktober 2010 als Referenten im Rahmen des VDE-Seminars „Netzurückwirkungen in Theorie und Praxis“ in Dresden tätig.

PD Dr.-Ing. habil. Helmut Löbl war im Oktober 2010 als Dozent bei der Ausbildung zu „Infrarotdiagnose an Verbindungen der Elektroenergietechnik“ für das Haus der Technik in Essen tätig.



**Labor-, Prüf- und Messtechnik**

### Neue 10-kV-Schaltanlage zur Energieversorgung der 1,2-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage

Die 1,2-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage in der Hochspannungshalle ist für das Institut unverzichtbar für Forschung und Lehre auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik. Im Juni 2009 verursachte die zur Energieversorgung der 1,2-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage gehörende 10-kV-Schaltanlage eine Störung in der Elektroenergieversorgung der TU Dresden. Bis zur Klärung der Ursachen musste der Betrieb der Anlage eingestellt werden. Die Auswertung der Störung ergab, dass ein sicherer Betrieb der Schaltanlage in den nächsten Jahren nur mit erheblichen Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen gewährleistet werden konnte. Nach Instandhaltungsmaßnahmen im Juli 2009 wurde der Forschungs- und Lehrbetrieb mit der 1,2-MV-Wechselspannungs-Prüfanlage zunächst wieder aufgenommen. Der Zeitraum einer wirtschaftlichen und sicheren Restnutzungsdauer der Schaltanlage war jedoch nicht abschätzbar. Daraus ergab sich der dringende Bedarf, die im Jahr 1986 errichtete Schaltanlage zeitnah zu ersetzen.

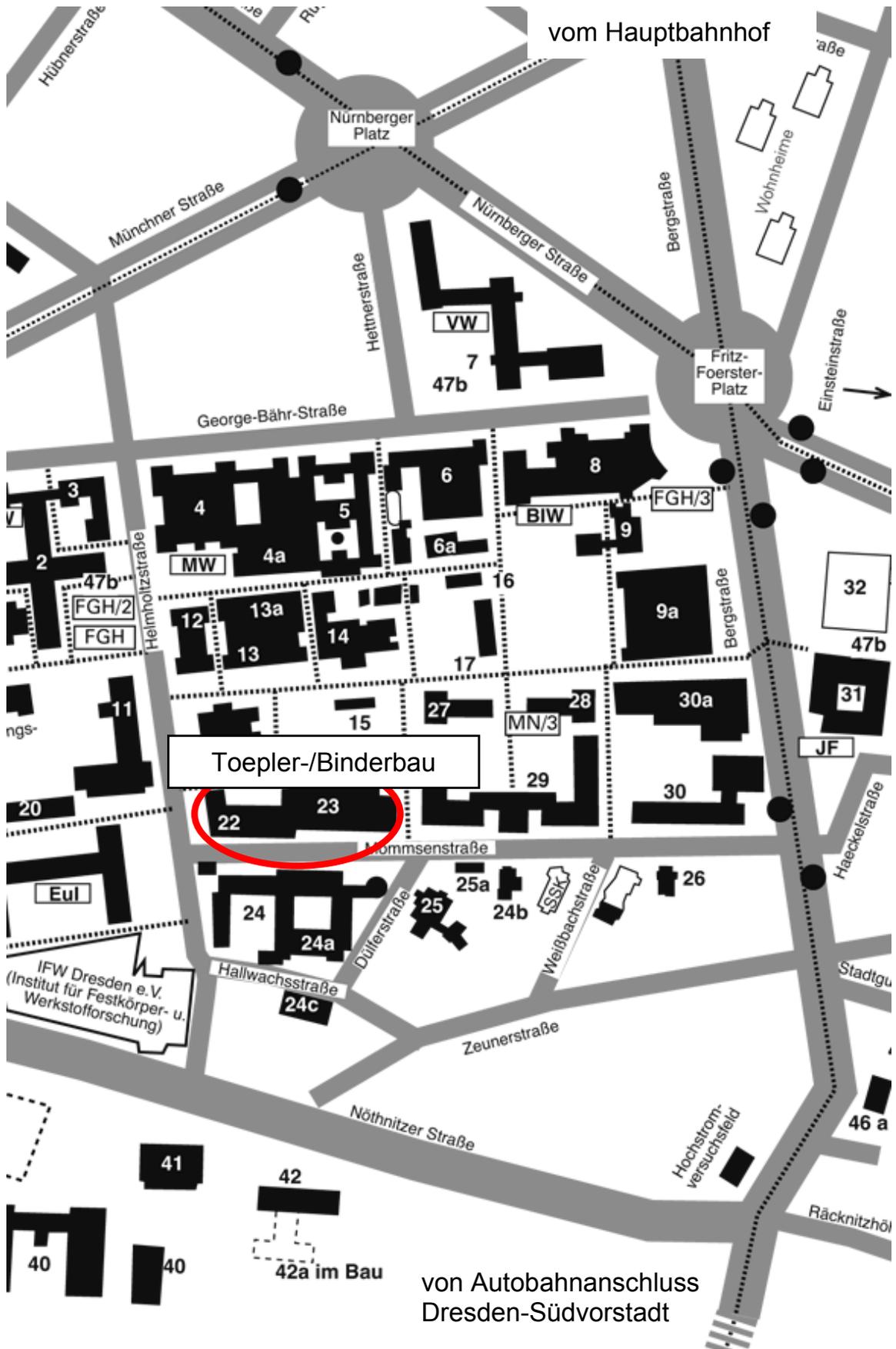
Mit Unterstützung der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, des Dezernat 4 – Gebäudemanagement und Datenverarbeitung der TU Dresden, des Staatsbetriebes Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, der AREVA Energietechnik GmbH und nicht zuletzt durch einen erheblichen Teil Eigenleistung des Institutes gelang es im Mai 2010, die bestehende Schaltanlage auszubauen, den Innenraum des Anlagengebäudes zu ertüchtigen und abschließend 5 neue Felder der Baureihe PI 104 des Herstellers AREVA Energietechnik GmbH, Sachsenwerk Mittelspannung einzubauen und erfolgreich in Betrieb zu nehmen. Zu danken ist allen Beteiligten für die Unterstützung und die konstruktive Zusammenarbeit in der Phase der Planung und während des Umbaus.



*Neue 10-kV-Schaltanlage*

# **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)